



## **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

# **APLICAÇÃO DE MELHORES PRÁTICAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS AO PROJETO DE UM CARRO ELÉTRICO**

Por,  
**Amaranta Hayata de Azevedo**

**Brasília, 05 de Dezembro de 2014**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**APLICAÇÃO DE MELHORES PRÁTICAS DE  
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS AO  
PROJETO DE UM CARRO ELÉTRICO**

POR,

**Amaranta Hayata de Azevedo**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro de Produção.

**Banca Examinadora**

Prof. Sanderson C. M. Barbalho, UnB/ EPR (Orientador)

\_\_\_\_\_

Prof. Dianne M. Vianna, UnB/ ENM

\_\_\_\_\_

Prof. Rafael A. Shayani, UnB/ ENE

\_\_\_\_\_

Brasília, 05 de Dezembro de 2014

### **Dedicatória(s)**

*Este trabalho é dedicado a meus pais,  
Magda Azevedo e Luiz Carlos de Azevedo.  
À minha irmã e amiga, Inajara Azevedo.  
Para meu companheiro, Daniel Almeida.  
Sou o resultado da confiança e da força de  
cada um de vocês.*

*Amaranta Hayata de Azevedo*

## **Agradecimentos**

*Aos meus pais Magda Azevedo e Luiz Carlos de Azevedo e à minha irmã, Inajara Azevedo, que, com muito carinho, apoio e dedicação, não mediram esforços para que eu concluísse esta etapa de minha vida.*

*A Daniel Almeida, pessoa com quem amo partilhar a vida e maior incentivador deste projeto, pelo companheirismo, dedicação e confiança em mim. Saiba que este trabalho se concluiu pela admiração e orgulho que tenho de tê-lo como companheiro.*

*Ao Professor Sanderson C. M. Barbalho pelas orientações e ensinamento que me proporcionaram crescimento profissional e acadêmico.*

*À Professora Dianne M. Vianna que ao longo de três anos depositou sua confiança em mim para coordenar e desenvolver este projeto.*

*Ao Professor Rafael A. Shayani por todo apoio dedicado ao projeto.*

*A todos os que fizeram parte da família Ciclar. A amizade de vocês é o melhor resultado que levo comigo.*

*Amaranta Hayata de Azevedo*

---

## RESUMO

O desenvolvimento de um produto envolve diversas etapas que devem ser cumpridas, objetivando a produção de um item que represente os reais requisitos exigidos e seja passível de produção, de tal forma a agregar valor perante o mercado. Nesse sentido, muito se tem propalado sobre Processo de Desenvolvimento de Produtos como meio dinâmico e prático de sistematizar informações para construir um esquema básico de produto, garantindo os principais vínculos entre objetivos, planejamento, implementação e verificação. O presente trabalho tem por finalidade apresentar a sistematização do processo de desenvolvimento de um veículo elétrico projetado por uma equipe de estudantes universitários para apoiar centros de catadores de material reciclável. Aspectos do planejamento estratégico do desenvolvimento do protótipo serão apresentados e discutidos, bem como os processos de definição dos requisitos, geração de alternativas e análise de valor. Adicionalmente, o projeto conceitual do produto, seu projeto técnico e sua otimização, bem como a preparação de sua produção são apresentados e discutidos seguindo uma metodologia sistemática de projeto baseada em modelos de referência, reforçam assim os benefícios da metodologia definida para o veículo elétrico.

---

## ABSTRACT

The development of a product involves several steps that must be executed, in order to produce an item that represents the real demanded requirements and is subject to production, in such a way to add value to the market. In that sense, much has been divulged about the Product Development Process as a dynamic and practical way of systematize information to build a basic scheme of product, ensuring the main links between objectives, planning, implementation and verification. This paper aims to present the systematization of the development of an electric vehicle designed by a team of university students to support centers for recyclable material collectors. Aspects of the strategic planning of the development of the prototype will be presented and discussed, as well as the processes of requirements definition, generation of alternatives and value analysis. Additionally, the conceptual design of the product, its technical design and its optimization, as well as the preparation of its production are presented and discussed following a systematic methodology of project based on reference models, reaffirming the benefits of the methodology defined for the electric vehicle.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	8
1.1.1	O Ciclar .....	9
1.2	OBJETIVOS .....	10
1.2.1	Objetivos específicos.....	10
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	11
<b>2</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA.....</b>	<b>12</b>
2.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	12
2.2	ATIVIDADES NECESSÁRIAS À PESQUISA .....	14
	<b>PARTE I FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
3.1	DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS .....	17
3.2	MODELOS DE REFERÊNCIA DE PDP .....	19
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DESENVOLVIDA.....</b>	<b>24</b>
4.1	METODOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O PROJETO CICLAR.....	24
4.1.1	Planejamento estratégico .....	25
4.1.2	Especificações do produto.....	26
4.1.3	Planejamento do projeto.....	26
4.1.4	Concepção técnica do produto .....	27
4.1.5	Projeto técnico .....	28
4.1.6	Otimização .....	28
4.1.7	Homologação e validação .....	29
4.1.8	Monitoramento .....	29
4.2	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA .....	30
	<b>PARTE II ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO PRODUTO.....</b>	<b>33</b>
5.1	JUSTIFICATIVA DO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO .....	33
5.2	OS VEÍCULOS ELÉTRICOS .....	35
5.3	POTENCIAL DE MERCADO .....	40
5.4	CONCORRENTES .....	45
5.5	PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA .....	49
5.6	LEGISLAÇÃO.....	55
<b>6</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO .....</b>	<b>58</b>
6.1	REQUISITOS E NECESSIDADES DOS CLIENTES.....	58
6.2	MÉTRICAS DA QUALIDADE DO PRODUTO .....	59
6.3	ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO .....	60
6.4	CONCEITO DO PRODUTO .....	61
<b>7</b>	<b>PLANEJAMENTO DO PROJETO.....</b>	<b>64</b>
7.1	DECLARAÇÃO DO ESCOPO .....	64
7.1.1	Estrutura Analítica do Projeto (EAP) .....	65
7.2	RECURSOS NECESSÁRIOS .....	66
7.3	GESTÃO DE RISCOS.....	67
7.4	GESTÃO DA COMUNICAÇÃO .....	69
<b>8</b>	<b>CONCEPÇÃO TÉCNICA DO PRODUTO.....</b>	<b>71</b>
8.1	CONCEITO DO PRODUTO .....	71
8.2	MODELAGEM E SISTEMATIZAÇÃO DO CONCEITO .....	73
8.3	INTERFACE DE CONTROLE .....	79
8.4	PRINCIPAIS PARTES: ÁRVORE DO PRODUTO.....	79

8.4.1	Sistema de alimentação .....	81
8.4.2	Motor .....	81
8.4.3	Transmissão .....	82
8.4.4	Sistema de arrefecimento .....	82
8.4.5	Iluminação .....	83
8.4.6	Chave de seta .....	83
8.4.7	Caixa de fusíveis .....	84
8.4.8	Painel de instrumentos .....	84
8.4.9	Instrumentação .....	85
8.4.10	Chassi .....	85
8.4.11	Freio .....	86
8.4.12	Suspensão e Direção .....	86
<b>9</b>	<b>PROJETO TÉCNICO .....</b>	<b>87</b>
9.1	CHASSI .....	87
9.2	FREIO .....	88
9.3	SUSPENSÃO E DIREÇÃO .....	89
9.3.1	Suspensão dianteira .....	90
9.3.2	Suspensão traseira .....	91
9.3.3	Direção .....	92
9.4	MOTOR .....	92
9.5	SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO .....	93
9.5.1	Banco de Baterias .....	93
9.5.2	Painel Solar .....	94
9.6	SISTEMA DE ARREFECIMENTO .....	95
9.7	TRANSMISSÃO .....	96
9.8	PAINEL DE INSTRUMENTOS .....	98
9.9	INSTRUMENTAÇÃO .....	99
9.9.1	Microprocessador: plataforma de prototipagem eletrônica .....	99
9.9.2	Sensores .....	100
9.10	CAIXA DE FUSÍVEIS .....	101
9.11	CHAVE DE SETA .....	102
9.12	ILUMINAÇÃO .....	102
<b>10</b>	<b>OTIMIZAÇÃO .....</b>	<b>104</b>
10.1	ESTRUTURAS SECUNDÁRIAS DE SUPORTE .....	104
10.2	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA .....	104
10.3	CARENAGEM E DESIGN .....	105
10.4	ANÁLISE DE RISCO E CONFIABILIDADE .....	109
	<b>PARTE III RESULTADOS .....</b>	<b>113</b>
<b>11</b>	<b>ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA .....</b>	<b>114</b>
11.1	MODELO DE MATURIDADE E CAPABILIDADE .....	114
11.2	ANÁLISE DO PDP APLICADO AO VEÍCULO ELÉTRICO .....	115
<b>12</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRÓXIMOS PASSOS .....</b>	<b>120</b>
12.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	121
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>122</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>125</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>128</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação da pesquisa científica em engenharia de produção.....	12
Figura 2. Fases de condução do estudo de caso .....	14
Figura 3. Processo de desenvolvimento de produtos .....	17
Figura 4. Visão geral do modelo unificado de Rozenfeld et al .....	19
Figura 5. Fases do modelo MRM.....	20
Figura 6. Processo de Desenvolvimento do Produto Automotivo .....	22
Figura 7. Fases do modelo de referência MRM adaptadas ao projeto em questão .....	25
Figura 8. Planejamento estratégico .....	25
Figura 9. Especificações do produto .....	26
Figura 10. Planejamento do projeto .....	27
Figura 11. Concepção do produto .....	27
Figura 12. Projeto técnico .....	28
Figura 13. Otimização .....	28
Figura 14. Homologação e validação .....	29
Figura 15. Monitoramento.....	29
Figura 16. Uso de Energia no Brasil .....	33
Figura 17. Matriz Elétrica Brasileira.....	34
Figura 18. Representação gráfica dos impostos na importação de um veículo elétrico.....	35
Figura 19. Primeira bateria de chumbo ácido a ser comercializada.....	36
Figura 20. Modelo do veículo elétrico da frota de taxis de Nova York.....	36
Figura 21. Modelo de veículo elétrico Citicar.....	38
Figura 22. Carro elétrico EV1 da GM.....	38
Figura 23. Modelo Toyota RAV4 EV .....	39
Figura 24. Toyota Prius híbrido .....	39
Figura 25. Gráfico de faturamento e participação no PIB da indústria automobilística .....	40
Figura 26. Grandes números da indústria automobilística brasileira .....	41
Figura 27. Frota de auto veículos mundial .....	42
Figura 28. Taxa de crescimento da frota de auto veículos nos sete países com maior frota....	42
Figura 29. Número de habitantes por veículo .....	43
Figura 30. Estimativa da frota de veículos mundial baseada na análise de hab/veículo .....	43
Figura 31. Produção de auto veículos mundial - 2003 a 2012 .....	44
Figura 32. Produção de auto veículos por continente em 2012 .....	44
Figura 33. Empresas associadas à Anfavea que fabricam auto veículos no Brasil.....	45
Figura 34. Painel de poluentes por tipo de veículo .....	46
Figura 35. Quilometragem rodada por litro por tipo de veículo .....	47
Figura 36. Quilowatt-hora necessário para percorre um quilometro .....	47
Figura 37. Custo do quilometro rodado por tipo de veículo .....	48
Figura 38. Da esquerda para a direita: Nissan Leaf, Renault Zoe e Mitsubishi iMiev .....	48
Figura 39. Aplicações de veículos elétricos para prestação de serviços .....	49
Figura 40. Aplicações de carro tipo golfe .....	49
Figura 41. Banco de baterias especial utilizado no modelo EVA.....	50
Figura 42. Táxi elétrico EVA desenvolvido para regiões tropicais .....	50
Figura 43. Carro de corrida elétrico Lola B12 69/EV.....	51
Figura 44. Ônibus elétrico que utilizada sistema OLEVs .....	52
Figura 45. Garagem solar para veículo elétricos proposta pela BMW .....	52
Figura 46. Minicarro elétrico brasileiro JAD .....	53
Figura 47. Modelo Armadillo-T dobrado.....	53
Figura 48. Veículo elétrico Armadillo-T.....	54



Figura 49. Carro elétrico Egassus .....	54
Figura 50. Modelo C-1 produzido pela Lit Motors .....	55
Figura 51. Conceito do veículo estilo pick-up para transporte de carga .....	62
Figura 52. Conceito do veículo estilo rebocador para transporte de carga .....	62
Figura 53. Ciclo de vida do veículo elétrico .....	64
Figura 54. EAP do projeto.....	65
Figura 55. Percentual de risco do projeto por categoria.....	68
Figura 56. Canais de comunicação.....	70
Figura 57. Projeto básico de engenharia do veículo elétrico.....	71
Figura 58. Elementos do veículo elétrico .....	72
Figura 59. Diagrama funcional do veículo elétrico.....	73
Figura 60. Concepção selecionado.....	78
Figura 61. Diagrama da interface de controle .....	79
Figura 62. Árvore do veículo elétrico proposto .....	80
Figura 63. Componentes do sistema de alimentação .....	81
Figura 64. Motor elétrico de corrente contínua.....	81
Figura 65. Sistema de transmissão .....	82
Figura 66. Componentes do sistema de arrefecimento .....	82
Figura 67. Farol dianteiro, componente do conjunto de iluminação.....	83
Figura 68. Chave de seta .....	83
Figura 69. Fusível utilizado na caixa de fusíveis .....	84
Figura 70. Design do painel de instrumentos .....	84
Figura 71. Placa arduino.....	85
Figura 72. Chassi.....	85
Figura 73. Sistema de freio .....	86
Figura 74. Sistema de suspensão dianteira e direção .....	86
Figura 75. Desenho técnico das medidas principais do chassi do veículo .....	87
Figura 76. Chassi do veículo elétrico .....	88
Figura 77. Sistema de freio do veículo.....	89
Figura 78. Suspensão dianteira.....	90
Figura 79. Suspensão traseira.....	91
Figura 80. Sistema de direção .....	92
Figura 81. Componentes do sistema do motor .....	93
Figura 82. Componentes do sistema do banco de baterias.....	94
Figura 83. Sistema do Painel Solar .....	95
Figura 84. Esquema do fluxo de água e energia elétrica no sistema de arrefecimento.....	96
Figura 85. Sistema de transmissão .....	97
Figura 86. Painel de instrumentos do veículo .....	98
Figura 87. Arduino e sua conexão a uma shield .....	99
Figura 88. Sensor de peso na unidade rebocadora .....	100
Figura 89. Representação gráfica da caixa de fusíveis.....	101
Figura 90. Funções chave de seta.....	102
Figura 91. Sistema de iluminação do veículo elétrico .....	103
Figura 92. Esquemático dos componentes elétricos do veículo .....	105
Figura 93. Linhas e formas de um veículo .....	106
Figura 94. Body Wide Line e Cheater Panel, respectivamente.....	107
Figura 95. Sketches de alternativas para a carenagem do veículo elétrico .....	107
Figura 96. Modelo 3D final da carenagem do veículo elétrico .....	108
Figura 97. Sketches do interior do veículo elétrico.....	108
Figura 98. Resultado gráfico da análise FMEA .....	112
Figura 99. Gráfico de evolução da capacidade do PDP aplicado .....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das classificações de pesquisa .....	13
Tabela 2. Situação das atividades das macro fases antes da aplicação da metodologia proposta .....	30
Tabela 3. Classificação das principais patentes pesquisadas .....	56
Tabela 4. Lista de principais patentes identificadas .....	57
Tabela 5. Restrições do projeto, necessidades dos clientes e requisitos normativas .....	58
Tabela 6. Métricas da qualidade do produto .....	59
Tabela 7. Especificações meta do produto .....	61
Tabela 8. Competências desenvolvidas segundo situações de aprendizagem .....	66
Tabela 9. Riscos priorizados .....	68
Tabela 10. Estratégias de comunicação.....	70
Tabela 11. Alternativas de concepção selecionadas.....	74
Tabela 12. Alternativas de concepção do banco de baterias .....	75
Tabela 13. Valoração dos critérios de avaliação .....	76
Tabela 14. Avaliação comparativa das alternativas .....	77
Tabela 15. Acelerações aplicadas em cada situação simulada.....	88
Tabela 16. Informações do motor .....	93
Tabela 17. Informações do banco de baterias .....	94
Tabela 18. Relação de engrenagens .....	97
Tabela 19. Relação de componentes elétricos por fusíveis.....	101
Tabela 20. Índices de severidade e critério para sua definição .....	109
Tabela 21. Índices de ocorrência e de detecção das falhas e critério para sua definição .....	109
Tabela 22. Planilha FMEA de análise de riscos .....	110
Tabela 23. Análise da capacidade das atividades do PDP antes e depois da sistematização do processo apresentada no presente trabalho.....	116
Tabela 24. Parâmetros de valores de cada nível de capacidade .....	117

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos químicos

CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono (gás carbônico)
CO	Monóxido de Carbono
NMHC	Hidrocarbonetos do tipo não metano
NO <sub>x</sub>	Óxido Nitroso
LiFePO <sub>4</sub>	Fosfato de Ferroso de Lítio

## Siglas

AAMA	<i>American Automobile Manufacturers Association</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Anfavea	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ART	Anotação de responsabilidade técnica
Carb	<i>California Air Resources Board</i>
Contran	Conselho Nacional de Trânsito
Detran	Departamento de Trânsito
FIA	Federação Internacional de Automobilismo
GM	<i>General Motors</i>
ICMS	Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPI	Imposto sobre produtos industrializados
KAIST	Instituto de Ciência e Tecnologias Avançadas da Coreia do Sul
MDIC	Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior
OLEV	<i>On-line Electric Vehicle</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
UnB	Universidade de Brasília
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
DLO	<i>Day Light Opening</i>
CMMI	<i>Capability Maturity Model Integration</i>

# 1 INTRODUÇÃO

*Este capítulo apresenta considerações gerais preliminares relacionadas ao conteúdo do presente Projeto de Graduação. São abordados a justificativa e objetivos do trabalho, bem como aspectos sobre a estrutura do trabalho.*

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A importância da área de desenvolvimento de produto vem se ampliando significativamente nas últimas décadas, uma vez que o aumento da competitividade no cenário comercial demanda a modernização dos processos gerenciais das empresas envolvidas, objetivando por um lado, melhorias na qualidade dos produtos e, por outro, a redução de custos e aumento de produtividade. Não por menos, o desempenho da capacidade de inovar e desenvolver produtos tem sido visto como ponto estratégico para a competição em diversos segmentos industriais, a exemplo, setor automobilístico, biotecnologia, software e farmacêutico.

As rápidas mudanças nas preferências e necessidades dos consumidores e a agilidade no surgimento de novas ideias de produtos são realidades que provocam uma redução significativa no ciclo de vida dos produtos. Assim, em uma economia globalizada, o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) é considerado um fator crítico para manutenção da competitividade organizacional e sobrevivência da organização, uma vez que tal processo garante a capacidade de manter linhas de produtos atualizadas e condizentes com o dinâmico nível de exigência dos consumidores. De tal modo, o PDP de produtos cada vez mais complexos estabelece um gerenciamento integrado que envolve capacidades multifuncionais, para fazer frente à evolução tecnológica.

Devido sua importância competitiva, muitos autores e especialistas propõem os denominados modelos de referência, que visam determinar meios para desenvolver produtos que tenham potencial de sucesso mercadológico. Assim, ao estabelecerem procedimentos, técnicas, metodologias e ferramentas, os modelos de referência definem premissas e diretrizes ditas necessárias para o sucesso do desenvolvimento de novos produtos. Entretanto, vale ressaltar que um mesmo processo pode ser guiado por diferentes metodologias, podendo atingir resultados distintos, mas que apresentam o mesmo grau de satisfação.

Torna-se portanto, um desafio por si só, a tarefa de definir a metodologia que mais se adeque tanto ao desenvolvimento de um determinado produto, como ao contexto em que este produto está inserido. Em vista disso, esta decisão deve ser tomada levando em consideração fatores como área e mercado de atuação, estágio de maturidade e recursos disponíveis, podendo a metodologia estabelecida sofrer variações ao longo do tempo, de forma a adaptá-la a modernização do cenário competitivo.

Neste sentido, projetos de produtos desenvolvidos em ambiente universitário apresentam limitações em diferentes aspectos e, conseqüentemente, muitos dos modelos de referência da literatura não contemplam especificidades importantes associadas ao contexto, no qual o desenvolvimento das competências técnicas e transversais dos envolvidos motiva a produção apenas de protótipos destinados a estudos e pesquisas, diferentemente das organizações que desenvolvem produtos para serem comercializados. Todavia, vale ressaltar que apesar de não ser objetivo principal dos projetos de pesquisas universitários, os produtos desenvolvidos no âmbito de pesquisa podem vir a apresentar grandes potenciais competitivos, podendo posteriormente dar origem a projetos empresariais.

### **1.1.1 O Ciclar**

Perante esta necessidade de estabelecer uma metodologia que se adeque aos projetos universitários, o presente trabalho tem como principal enfoque de estudo o Ciclar, projeto desenvolvido por uma equipe de estudantes universitário da Universidade de Brasília. O principal objetivo deste projeto é fabricar um protótipo de veículo elétrico destinado a realizar a coleta de material reciclável descartado no campus Darcy Ribeiro. De tal modo, o Ciclar visa não somente o desenvolvimento tecnológico, mas também o papel social e ambiental dos estudantes como futuros profissionais atuantes na área tecnológica.

Com foco na engenharia sustentável e na ecoeficiência, o Ciclar objetiva criar e utilizar tecnologias de modo a resultar em um crescimento que não agrida o meio ambiente, propondo duas soluções ecológicas para uma sociedade mais sustentável. A primeira consiste na coleta seletiva que, além de incentivar a reciclagem e reduzir a produção de resíduos sólidos, cria um ambiente para geração de renda e promoção de inclusão social e profissionalização de catadores de material reciclável. Por sua vez, a segunda solução apresentada pelo projeto é o veículo elétrico, que reforça um antigo conceito de grande importância ambiental, não emitindo diretamente poluentes gasosos, com motor que não produz ruído e, principalmente, sem a necessidade de consumir combustíveis de fontes não renováveis. Juntas, estas ideias deram origem ao Ciclar que busca a geração de novas opções para uma vida mais sustentável.

Apesar do desenvolvimento tecnológico ser um dos grandes destaques do projeto, o Ciclar possui um objetivo adicional, que consiste na criação de um ambiente colaborativo que propicie o desenvolvimento de competências técnicas e transversais, transformando a aprendizagem em um processo ativo e efetivo. A interação de estudantes de diferentes áreas e níveis de conhecimento propicia uma formação profissional fundamentada pela aprendizagem colaborativa e, não menos importante, pelo próprio processo de desenvolvimento do veículo. Conhecimentos teóricos adquiridos durante o curso são aplicados; novos conhecimentos teóricos e técnicos são buscados na solução de problemas ainda não estudados; aspectos não técnicos referentes à expressão oral e escrita e relacionamento interpessoal são vivenciados; e questões econômicas, sociais e ambientais são discutidas para o estabelecimento dos critérios e premissas do projeto.

Neste modelo de aprendizagem, o professor deixa de assumir o papel centralizador e passa a ter a função de motivador, instigador e orientador na busca de conhecimento. Com efeito, visto que na vida

profissional os engenheiros trabalham na maior parte do tempo em equipes, o Ciclar proporciona um ambiente no qual os estudantes partilham responsabilidades, reforçando tanto a natureza colaborativa do trabalho, como a aprendizagem em si.

## 1.2 OBJETIVOS

Visando avaliar o grau de melhoria da implementação de um processo estruturado de desenvolvimento de produto em iniciativas universitárias, o projeto ora relatado busca o objetivo geral:

*Sistematizar o método adotado no desenvolvimento de um veículo elétrico projetado e fabricado por um grupo de estudantes universitários, baseando-se nas melhores práticas de desenvolvimento de produto estabelecidas em modelos de referência.*

Neste sentido, uma vez que não foi utilizado nenhum PDP sistemático para o desenvolvimento do veículo elétrico, além de sistematizar o próprio produto resultante do Ciclar, espera-se aplicar e analisar os resultados obtidos pelo modelo, propondo uma metodologia para o desenvolvimento de produtos por equipes multidisciplinares em ambientes universitários.

Segundo Alves (1994) *apud* Barbalho (2006), os modelos de referência são considerados hipóteses provisórias do real. Assim, por se tratar da concepção e aplicação de uma metodologia baseada em um modelo de referência de desenvolvimento de produto, toma-se como hipótese desta pesquisa que o sucesso da implementação da metodologia aplicada neste projeto não define um modelo de referência de PDP. Por outro lado, segundo o método hipotético-dedutivo (Lakatos & Marconi, 1991), caso não possa ser utilizado a contento, o modelo pode ser considerado refutado para a aplicação específica no tipo de projeto aqui descrito. De maneira geral, tanto os resultados da adaptação do modelo de referência, como sua refutação devem estar respaldados na bibliografia especializada em PDP.

### 1.2.1 Objetivos específicos

Uma vez definido o objetivo geral do presente projeto de graduação, procura-se estabelecer os objetivos específicos do projeto para que o estudo a ser desenvolvido seja guiado de maneira adequada ao longo do escopo estabelecido. Neste sentido, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- Estudar os modelos de desenvolvimento de produtos aplicáveis ao projeto Ciclar;
- Adaptar dos modelos estudados uma metodologia de melhores práticas para projetos de produtos em âmbito universitário, dado que os modelos de referência são comumente direcionados ao público das empresas que competem no mercado e não a projetos acadêmicos;
- Verificar as lacunas do que foi realizado no projeto Ciclar e do que se é esperado pela metodologia estabelecida, buscando entender as ausências de fases e tarefas do processo de desenvolvimento de produto;

- Estruturar as etapas faltantes do projeto Ciclar, visando documentar o desenvolvimento do veículo elétrico de maneira completa e conforme estabelecido pelas melhores práticas de PDP;
- Propor um método de implementação do PDP para projetos universitários.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

No capítulo um do presente trabalho são apresentados a justificativa de se desenvolver o projeto proposto, bem como é definido o objetivo geral do trabalho e os objetivos específicos que se pretendem obter como resultado. Em seguida, o capítulo dois contextualiza o tipo de pesquisa desenvolvido, classificando-o e estabelecendo as atividades fundamentais que devem ser desenvolvidas para que os resultados sejam positivos e os objetivos sejam atingidos.

Os demais capítulos do trabalho estão divididos em três partes. A primeira parte trata da especificação da metodologia implementada e do desenvolvimento do estudo de caso. O capítulo três consiste na revisão bibliográfica que deu base para o desenvolvimento do trabalho proposto, apresentando conceitos fundamentais de PDP. A visão geral da metodologia utilizada no projeto Ciclar é apresentada no capítulo quatro, o qual descreve as etapas de desenvolvimento do veículo elétrico.

Por sua vez, a parte dois é o próprio desenvolvimento do estudo de caso. Sendo assim, os capítulos que compõem esta parte são cada fase estabelecida na metodologia. O capítulo cinco consiste no planejamento estratégico do produto, no qual é exposto o potencial do produto no mercado, sua prospecção tecnológica, seus concorrentes e as legislações que limitam e regularizam o veículo elétrico. Em seguida, as especificações do produto é desenvolvido no capítulo seis, mostrando o processo realizado para a obtenção das metas do produto e de seu conceito inicial. No capítulo sete são apresentados aspectos do planejamento do projeto, visando melhor determinar o escopo de atuação do mesmo. O capítulo oito trata da concepção do produto, evidenciando a estrutura funcional dos sistemas e subsistemas do veículo elétrico. Em seguida, o detalhamento dos projetos técnicos dos sistemas que compõem as funções primárias são apresentados no capítulo nove. Ao final do estudo de caso, o capítulo dez expõe as soluções estabelecidas para as funções secundárias, explicitando seus projetos técnicos e o design no veículo elétrico.

Por fim, a terceira parte apresenta os resultados atingidos, analisando-os de acordo com os objetivos traçados no capítulo um. No capítulo onze é realizada uma análise da capacidade antes e depois do desenvolvimento do presente trabalho, evidenciando as melhorias conseguidas no projeto do produto e na sua documentação técnica após a implementação da metodologia proposta. As considerações finais, apresentadas no capítulo doze, analisam o processo de desenvolvimento do produto proposto como método eficaz para aplicação em projetos no âmbito universitário, sugerindo propostas para trabalhos futuros.

## 2 MÉTODO DE PESQUISA

*Neste capítulo será abordada a metodologia de pesquisa utilizando, classificando a pesquisa em questão e definindo as atividades necessárias para seu desenvolvimento.*

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Silva *et al* (2005), a pesquisa é uma atividade básica das ciências que consiste em um conjunto de tarefas propostas que buscam encontrar a solução para um problema específico, a partir da combinação de teoria e dados. Ao se desenvolver uma pesquisa científica, é de fundamental importância identificar qual sua classificação, visando assim entender sua natureza, seus objetivos e os métodos que serão empregados. Uma vez que a classificação da pesquisa se baseia no enfoque dado pelo próprio autor, este processo de categorização resulta em um assunto bastante controverso. Entretanto, Turrioni *et al* (2012) afirmam que a forma clássica de se classificar pesquisas científicas em engenharia de produção é dada pela estrutura apresentada na Figura 1.

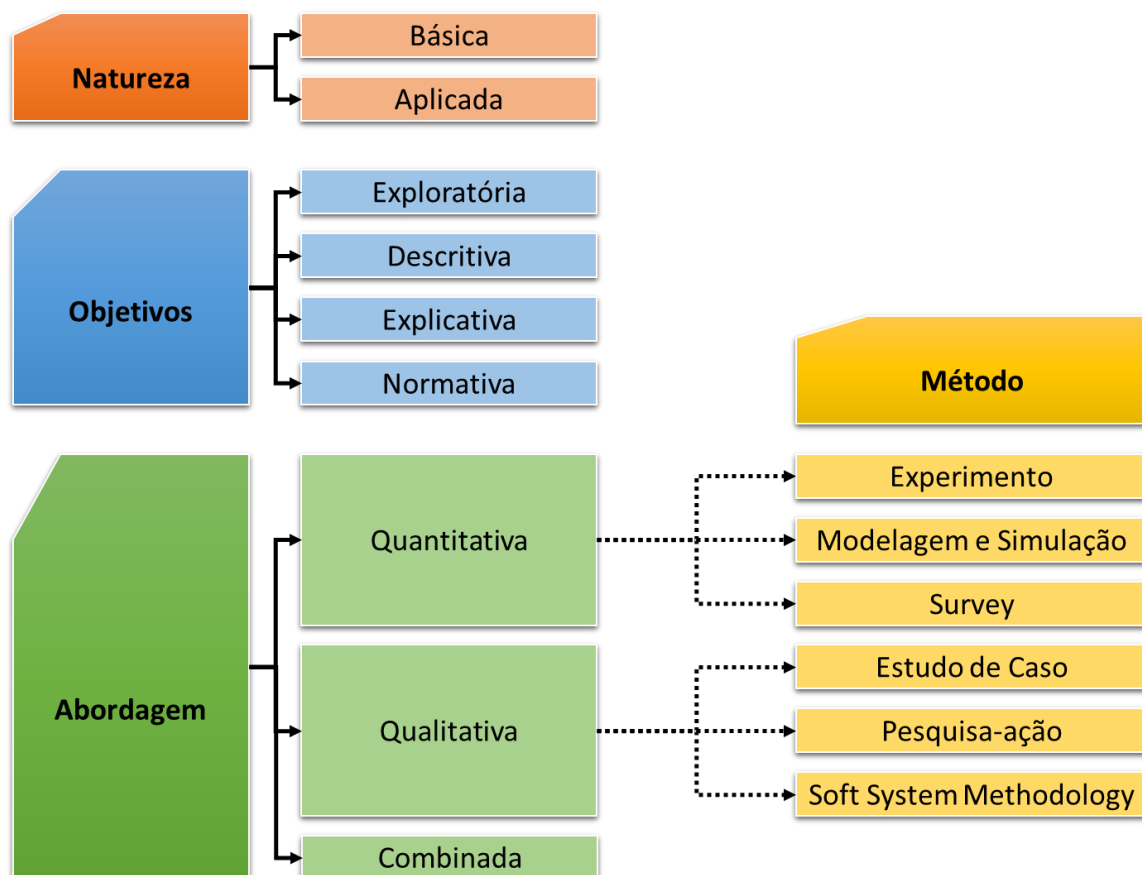


Figura 1. Classificação da pesquisa científica em engenharia de produção  
Fonte: Adaptado de Turrioni *et al* (op. cit.)



A Tabela 1 apresenta uma breve descrição de cada uma das classificações definidas.

*Tabela 1. Descrição das classificações de pesquisa*

	<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>
Natureza	Básica	Pesquisa formal que busca a ampliação de conhecimentos teóricos sem utilizá-los na prática.
	Aplicada	Gera conhecimento para aplicá-lo na prática e propor soluções de problemas específicos.
Objetivos	Exploratória	Proporciona maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito ou até mesmo desenvolvendo hipóteses.
	Descritiva	Descreve as características de determinado fenômeno ou estabelece relações entre variáveis.
	Explicativa	Identifica os fatores que determinam a ocorrência dos fenômenos, aprofundando o conhecimento da realidade.
	Normativa	Desenvolve políticas, estratégias e ações para aperfeiçoar os resultados disponíveis na bibliografia existente.
Abordagem	Quantitativa	Traduz informações e opiniões em números para efetuar sua comparação e análise, necessitando assim de recursos e técnicas estatísticas
	Qualitativa	Se baseia na relação dinâmica entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito, atribuindo significados a partir da interpretação dos fenômenos de forma indutiva.
	Combinada	Considera que aspectos da pesquisa qualitativa e quantitativas podem ser combinados em todos ou algumas etapas da pesquisa.
Método	Experimento	Quando um objeto de estudo é determinado, selecionado as variáveis que o influenciam.
	Modelagem e Simulação	Quando, por meio de modelo, se experimenta um sistema real e as alterações a ele propostas.
	Survey / Levantamento	Quando envolve interrogação direta de pessoas cujo comportamento se deve conhecer.
	Estudo de Caso	Estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, gerando um amplo e detalhado conhecimento.
	Pesquisa-ação	Quando é realizada uma associação com uma ação ou com a resolução de um problema, envolvendo os participantes de forma cooperativa.
	Soft System Methodology	Formulação e estruturação do pensamento sobre os problemas em contextos complexos, construindo modelos conceituais e comparando-os ao mundo real.

Neste sentido, o presente trabalho é classificado como pesquisa aplicada do ponto de vista de sua natureza, visto que se caracteriza pelo interesse prático e aplicado dos conhecimentos desenvolvidos ao longo dos estudos. Por sua vez, no que se trata de seus objetivos, o trabalho é do tipo exploratório, uma vez que envolve atividades de levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulam a compreensão. Quanto à abordagem metodológica, a presente pesquisa é um estudo de caso qualitativo, pois, com o foco no processo e nas análises indutivas, busca-se ampliar os conhecimentos do problema proposto para que então seja realizado um estudo prático e profundo de um projeto específico.

Os estudos de casos são capazes de gerar resultados com alto potencial de impacto, levando a novas e criativas percepções que possibilitem o desenvolvimento de novas teorias. Devido sua importância, Yin (2001) *apud* Turrioni *et al* (2012) define, a partir dos objetivos propostos, três tipos predominantes de estudo de caso:

- Exploratório: estudo piloto que visa validar as hipóteses e, principalmente, os instrumento e procedimentos norteados no projeto.
- Descritivo: objetiva evidenciar a realidade como ela é, podendo os resultados serem ou não utilizados posteriormente para a formulação de hipóteses de causa e efeito.
- Explanatório: visa não apenas descrever a realidade, como também explicá-la em termos de causas e efeitos.

Logo, pode-se considerar que o presente projeto de graduação consiste em um estudo de caso exploratório, visto que sua estrutura é composta pelo estudo detalhado de um determinado objeto e que, ao final, busca-se identificar as melhorias do processo, os instrumentos que deverão ser refinados e as hipóteses que deverão ser reformuladas, tomando como base os resultados do estudo de caso.

## 2.2 ATIVIDADES NECESSÁRIAS À PESQUISA

Segundo Miguel (2007) o método de condução de estudo de caso deve seguir as atividades conforme estabelecido na Figura 2.

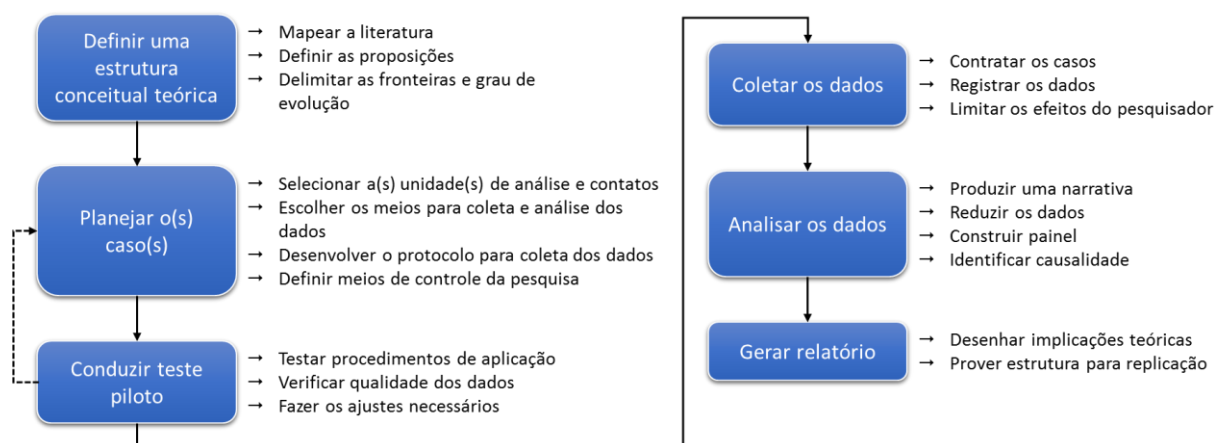


Figura 2. Fases de condução do estudo de caso  
Fonte: Adaptado de Miguel op. cit.

A investigação de um estudo de caso inicia-se com a definição de um referencial conceitual teórico, resultando em uma estrutura mapeada da literatura sobre o assunto. A fase de definir uma estrutura conceitual teórica também engloba a delimitação das fronteiras da pesquisa, estabelecendo o suporte teórico e explicando o grau de evolução sobre o tema estudado. Em seguida, a fase de planejar o(s) caso(s) consiste na definição da quantidade de unidades a serem analisados e sua seleção propriamente dita. Assim, selecionado(s) o(s) caso(s), determina-se os métodos e técnicas que serão utilizados tanto para a coleta como para a análise dos dados, estabelecendo meios de controle para a condução da investigação.

Apesar de não ser uma atividade muito comum em estudo de caso, a condução de um teste piloto visa verificar os procedimentos de aplicação de forma a propor correções e melhorias no planejamento estabelecido. Após a validação da estrutura e métodos definidos, inicia-se a etapa de coleta de dados por meio da utilização dos instrumentos definidos no planejamento. Em seguida, a análise de dados consiste na redução dos dados coletados de forma a incluir na análise somente o essencial e que tem ligação com os objetivos propostos. A síntese das etapas conduzidas, bem com os resultados e respostas a questões anteriores são apresentas no relatório final da pesquisa. Desta forma, vale ressaltar que o estudo de caso deve ser pautado na confiabilidade e validade, critérios fundamentais para julgar a qualidade da pesquisa desenvolvida.

No presente trabalho, as etapas de definição da estrutura conceitual teórica e de planejamento do caso a ser estudado são exploradas na Parte I. Em seguida, a Parte II consiste no estudo do caso propriamente dito e na coleta de dados realizadas. Por fim, a fase de análise dos dados consta na Parte III do trabalho.

**PARTE I**

**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E**

**METODOLÓGICA**

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

*Na revisão bibliográfica será apresentado os conceitos fundamentais ao desenvolvimento do presente trabalho, bem como o modelo referencial adotado no desenvolvimento do veículo elétrico, visando assim a melhor compreensão dos resultados obtidos.*

### 3.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

É possível encontrar diversas definições para Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) em literaturas de diferentes áreas de conhecimento. De modo geral, este processo tem como objetivo central a definição das especificações de um produto e de seu processo produtivo a partir da análise das necessidades dos clientes envolvidos e das capacidades e limitações tecnológicas. Rozenfeld *et al* (2006) define o PDP como sendo um processo de negócio que é operacionalizado através de projetos distintos, assim sendo, o mesmo processo de PDP resulta em projetos distintos (Figura 3).

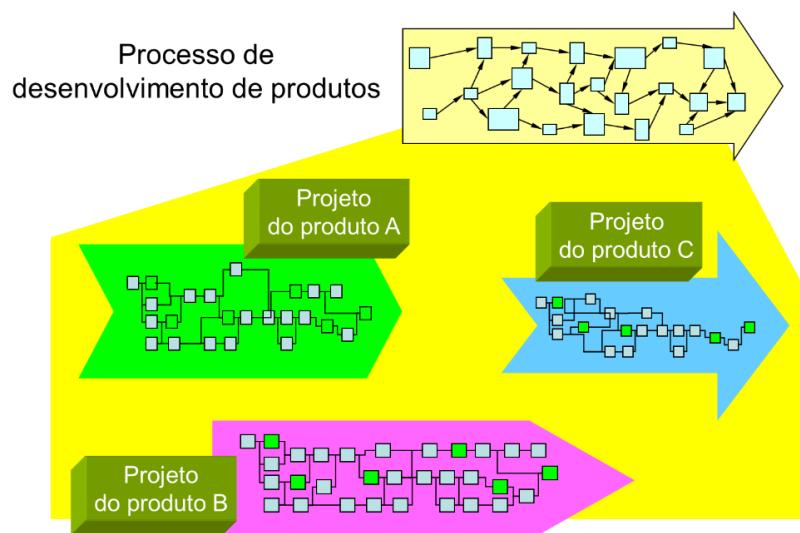


Figura 3. Processo de desenvolvimento de produtos (Rozenfeld et al, op. cit., p. 42)

Vale observar que ao longo de séculos o conceito do PDP vem amadurecendo e seu escopo de atuação tem sido ampliado. Segundo Chrissis *et al* (2003) *apud* Barbalho (2006), o PDP engloba todos os atores organizacionais que são afetados e/ou fazendo parte do processo de desenvolvimento, sendo que, o processo deve ocorrer ao longo da vida do produto, envolvendo atividades desde o planejamento estratégico do produto até a retirada do mercado e descarte do produto. Deste modo, fica evidente que a integração entre as diferentes áreas envolvidas no desenvolvimento do produto é de extrema importância para o sucesso do processo, uma vez que cada área vê o produto por uma perspectiva distinta, mas que complementam o conceito do produto como um todo.

Em estudo mais profundo, Barbalho (2006) define nove características do processo que define o PDP:

*“é um processo cujo **cerne** é definido pela identificação, projeto e atendimento das necessidades do mercado; é um processo que **transforma informações** de mercado e tecnologia em produtos que atendam às demandas dos consumidores; é um processo cujo **resultado** é constituído por informações importantes para a produção comercial do produto; é um processo no qual há **fases interligadas** por decisões que direcionam o fluxo de atividades a serem realizadas em cada projeto; é um processo cujo **escopo temporal** é delimitado pelo ciclo de vida de um produto; é um processo no qual um **grande conjunto de atores organizacionais** interage para a realização das atividades que o caracterizam; é um processo operacionalizado através **de projetos**; é um processo que comporta um conjunto de **atividades centrais** sem as quais não é possível projetar um novo produto; é um processo no qual ocorrem **ciclos de interação** entre atividades de fluxos distintos.” (op. cit., p. 38)*

O desenvolvimento de um produto tem que ser efetivo para que seus resultados atinjam as expectativas das partes interessadas, cumprindo seu papel de favorecer à empresa perante o mercado competitivo. Rozenfeld *et al* (2006) afirma que “o desempenho desse processo depende, fundamentalmente, do modelo geral para sua gestão [...]” (op. cit., p. 32).

O desenvolvimento de um produto deve consistir em um processo com eficácia capaz de resultar em produtos adequados e competitivos, atendendo às expectativas dos consumidores e estando alinhados às estratégias organizacionais, e com eficiência suficiente para atingir estes resultados utilizando o mínimo de recursos, incluindo tempo e custo para o desenvolvimento propriamente dito. A formalização de um modelo geral para a gestão do PDP viabiliza o bom desempenho deste processo, uma vez que a estruturação do desenvolvimento de produto garante a todos os envolvidos uma visão comum do processo, definindo aspectos como: resultados esperados do PDP, quais são as atividades que devem ser realizadas e como executá-las, condições que devem ser acatadas e critérios de decisão adotados ao longo do processo (Rozenfeld *et al*, 2006).

Os modelos de referência podem ser considerados um conjunto de melhores práticas que devem ser desenvolvidas no contexto de uma realidade específica. Barbalho e Rozenfeld (2004) *apud* Barbalho (2006) definem modelo como sendo:

*“[...] uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que desejar usá-lo para apoiar a execução de tarefas relacionadas com aquela parte da realidade, sejam operacionais ou gerenciais, sendo expresso em termos de algum formalismo (linguagem) definido por construtos de modelagem.”*

Neste sentido, os modelos genéricos não descrevem a realidade propriamente dita, mas sim, agregam a ideia de propósito do usuário de forma explícita, formando uma base para o desenvolvimento de um conjunto de atividades. No entanto, nem todo modelo é considerado um modelo de referência, uma vez que para ser tomado como referência, o modelo deve ser considerado uma sistematização do conhecimento em melhores práticas.

### 3.2 MODELOS DE REFERÊNCIA DE PDP

Atualmente, o modelo unificado de PDP proposto por Rozenfeld *et al.* (2006) é um dos mais empregados como referência, uma vez que é considerado um modelo genérico voltado para o setor de manufatura de bens de consumo. Neste modelo, o processo de desenvolvimento de produtos é dividido em macro fases, que são subdivididas em fases e que, por sua vez, são divididas em atividades, conforme apresentado na Figura 4.

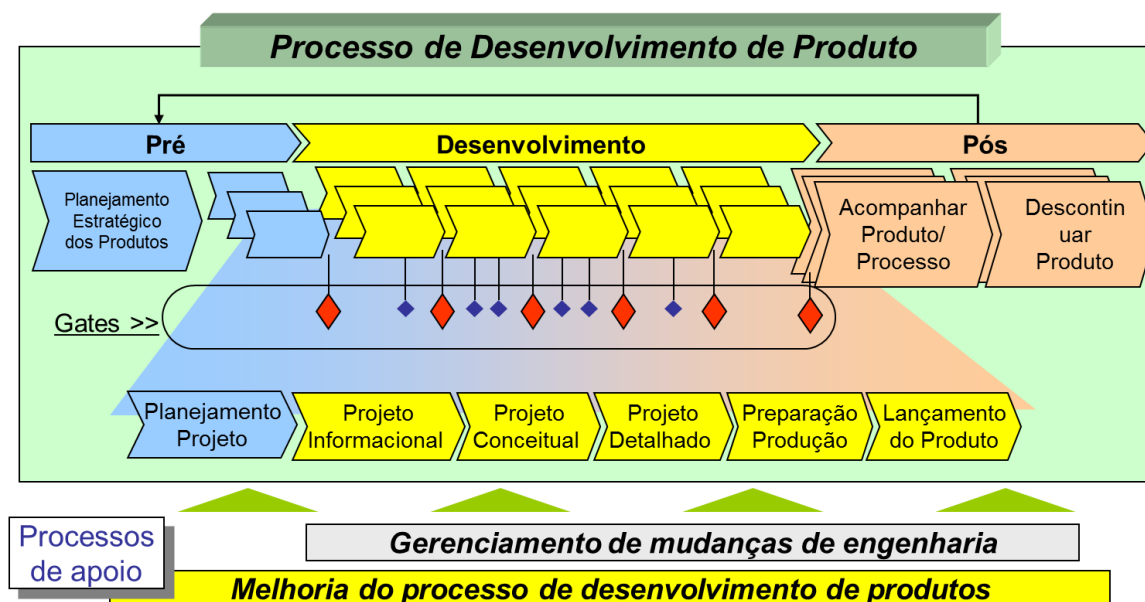


Figura 4. Visão geral do modelo unificado de Rozenfeld *et al.* (op. cit., p. 44)

A macro fase de pré-desenvolvimento visa garantir que o portfólio de projeto a ser desenvolvido é condizente com as oportunidades e restrições, com as expectativas dos envolvidos e, principalmente, com as estratégias da empresa. Fazem parte desta macro fase as fases de planejamento estratégico do produto, processo gerencial que orienta os demais processos de negócio da organização direcionando os estudos para um escopo menor; e planejamento do projeto, que realiza o planejamento macro de um dos projetos de novo produto identificados na fase anterior. O pré-desenvolvimento é a macro fase que trabalha com o conjunto que apresenta maior quantitativo de projetos e, a partir de então, o número de projetos a serem desenvolvidos diminui a cada fase do processo, resultando em apenas alguns lançamentos.

A segunda macro fase é a denominada desenvolvimento, caracterizada por enfatizar os aspectos tecnológicos necessários para a definição do produto, suas características e sua forma de produção. Ao final desta macro fase, pretende-se obter informações técnicas detalhadas do produto, definição dos meios de produção e delimitações comerciais do produto desenvolvido, visto que neste ponto, os protótipos já foram aprovados e o produto já foi lançado. O desenvolvimento é composto pelas fases de projeto informacional (cujo objetivo é definir especificações meta do produto a partir de informações levantadas no pré-desenvolvimento), projeto conceitual (busca, criação, representação e seleção de soluções viáveis para o problema e/ou oportunidade identificado do projeto), projeto detalhado (visa

desenvolver e finalizar todas as especificações do produto levantadas até o momento para encaminhamento à manufatura), preparação da produção (engloba a fabricação do lote piloto, a definição dos processos produtivos e a manutenção) e lançamento do produto (consiste nas atividades da cadeia de suprimento voltadas para a colocação do produto no mercado, compreendendo o desenho dos processos de venda e distribuição, o atendimento ao cliente e assistência técnica, e as campanhas de marketing do produto).

Por fim, a fase de pós-desenvolvimento apresenta como atividades centrais o acompanhamento sistemático do produto no mercado, bem como documentação das melhorias identificadas ao longo do ciclo de vida do produto. Ademais, esta macro fase também é responsável pelo processo de retirada do produto do mercado e avaliação de todo seu ciclo de vida, para que as experiências sirvam de referência para os desenvolvimentos futuros. Assim, o pós-desenvolvimento abrange as fases de acompanhar produto/processo e descontinuar produto, garantindo que parte do conhecimento desenvolvido e acumulado durante todo o processo seja sistematizado e documentado, estando à disposição da empresa e viabilizando sua reutilização no desenvolvimento de novos produtos.

O modelo unificado é constituído ainda por um modelo de maturidade, cujo objetivo é indicar o nível de prática em que a empresa se encontra, identificando quais as técnicas e métodos que devem ser priorizadas durante a implementação do PDP, e um modelo de transformação, que traz um conjunto de passos para conduzir as ações de implantação do PDP.

Apesar de propor um modelo unificado, há diversos outros modelos de referência para a implementação do PDP que divergem em alguns aspectos do modelo definido por Rozenfeld et al (*op. cit.*). Entre eles, o modelo definido por Barbalho (2006) apresenta um foco em desenvolvimento de produtos mecatrônicos, possibilitando não somente a comercialização do produto, como também melhoria nos indicadores de custo, controle de prazos e redução de reclamações dos setores produtivos com relação às especificações da engenharia.

Assim como o modelo unificado de Rozenfeld et al. (*op. cit.*), o Modelo de Referência Mecatrônico (MRM) de Barbalho (*op. cit.*) é estruturado em fases organizadas cronologicamente que transformam as entradas em documentos de saída por meio de um conjunto de atividades definidas. A sequência das fases do MRM é baseada na técnica de agregação de valor e é definida conforme mostrado na Figura 5.



Figura 5. Fases do modelo MRM (Barbalho, op. cit., p. 106)



A utilização da técnica de cadeia de valor agregado dá diretrizes para a implementação do modelo em contextos que apresentem reduzidos recursos disponíveis, adequando-se a projetos didáticos oriundos de iniciais universitárias. Ademais, o modelo estruturado permite o paralelismo entre atividades de diferentes fases, desde que este paralelismo não implique em falta de recursos para a conclusão das atividades centrais identificadas no período. Por outro lado, a forma elíptica na qual o modelo foi estruturado também evidencia a maior duração das fases centrais do desenvolvimento do produto, na qual o escopo técnico e o esforço da empresa demandam maior volume de atividades dos diferentes atores que nas fases extremas.

A primeira fase do MRM é a fase de estratégia, que consiste em definir os objetivos estratégicos que se almejam atingir com linhas de produtos a serem desenvolvidos, tomando como base informações do mercado e do plano estratégico da organização. Em seguida, a fase de portfólio identifica os produtos potenciais para cada linha de produto levantada na fase anterior, propondo projetos de desenvolvimento que se adequem às diretrizes estabelecidas na estratégia do produto. Os requisitos dos clientes, requisitos normativos e critérios de projeto são levantados na fase de especificações, auxiliando o processo de transformação estas informações em valores meta das métricas de qualidade do produto. No planejamento do projeto os recursos são alocados e o PDP é planejado de acordo com suas estruturas de trabalho e cronograma.

Com o objetivo de definir os princípios de solução para as funções principais do produto e seus principais componentes, a fase de concepção levanta alternativas de soluções técnicas que são submetidas a um processo de seleção. Posteriormente, o planejamento técnico detalha o plano de projeto com base na alternativa definida na fase de concepção, consolidando a arquitetura do produto. No projeto técnico, cada área técnica desenvolve soluções para as funções primárias do produto de forma integrada e inter-relacionada. Assim, chega-se à fase de otimização que, a partir de teste e análises de soluções para funções secundárias do produto, é capaz de aumentar a robustez e confiabilidade do produto. As fases de homologação e validação resultam na homologação do processo de fabricação e de montagem, e na validação e certificação do produto de acordo com os requisitos normativos, com o objetivo de viabilizar sua comercialização. Por fim, no lançamento e monitoramento do produto, as estratégias de lançamento dão início à comercialização do produto e seus resultados são acompanhados, gerenciando o desempenho do produto e as modificações necessárias, até sua descontinuação.

Outro modelo tomado como referência é o processo de desenvolvimento do produto automotivo (PDP-Automotivo) proposto por Silva (2006). O modelo proposto foi baseado em processos adotados em montadoras asiáticas, europeias e americanas, resultando assim em uma referência que melhor se adequa ao contexto do desenvolvimento automotivo. O PDP-Automotivo é constituído por três macro fases, conforme mostrado na Figura 6. Cada macro fase é composta por fases e marcos gerenciais (◇) e técnicos (♡). Para cada etapa do processo é sugerida uma escala genérica de tempo para que se tenha ideia, mesmo que abstrata, do tempo de duração do processo e de cada macro fase.

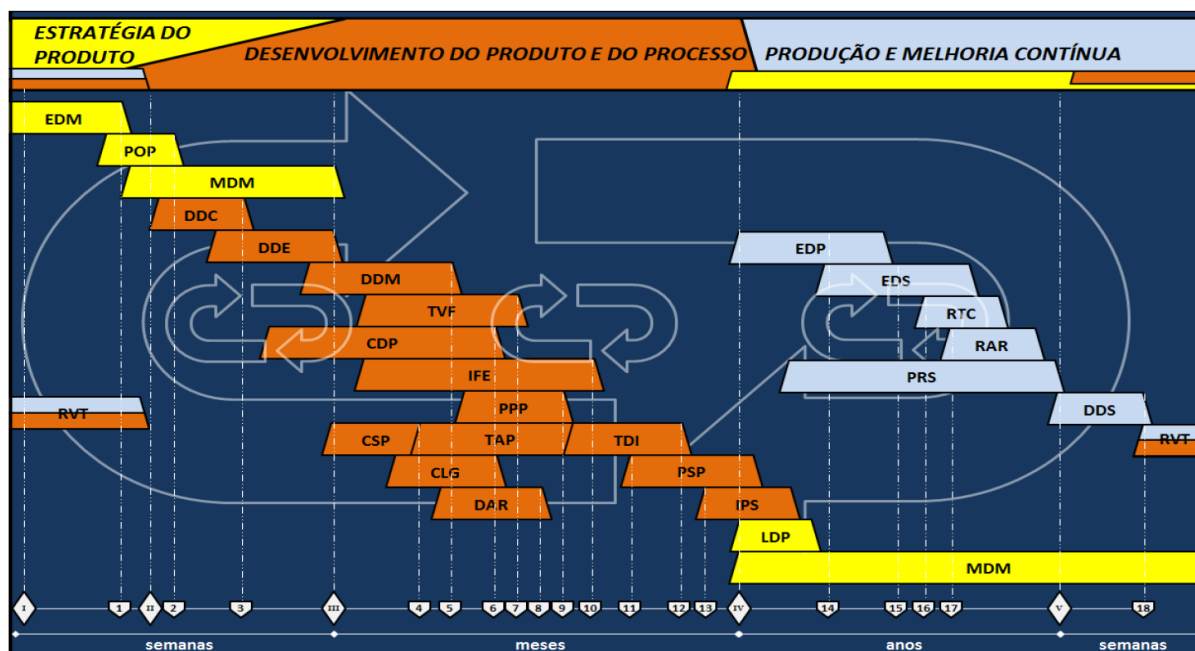


Figura 6. Processo de Desenvolvimento do Produto Automotivo (Silva, op. cit., p. 102)

A macro fase de estratégia do produto se inicia com a fase EDM (estudo do mercado), na qual é realizado o mapeamento das tendências do mercado e dos produtos concorrentes. Em seguida, na fase POP (posicionamento do produto) o modelo do produto é definido e, conseqüentemente, as primeiras informações do posicionamento do produto perante mercado são levantadas. O processo de MDM (monitoramento do mercado) acompanha as variações do mercado e está presente no início e no final do PDP-Automotivo. Este acompanhamento visa verificar se ao longo do desenvolvimento do produto houve variações drásticas no mercado que possam significar mudanças no produto em desenvolvimento. Apesar de ser realizada apenas ao final do processo, a fase LDP (lançamento do produto) é a última fase que compõe a macro fase de estratégia do produto. No LDP é realizada a disponibilização do produto no mercado, bem como é acompanhado o volume de vendas e a satisfação dos clientes.

Na segunda macro fase do PDP-Automotivo, o desenvolvimento do produto ocorre paralelamente ao desenvolvimento do processo. O desenvolvimento do produto é composto pelas seguintes fases: DDC (desenvolvimento do conceito), DDE (desenvolvimento do estilo), DDM (desenvolvimento dos módulos) e TVF (testes e validação final). Na fase DDC as informações qualitativas dos EDM são traduzidas em especificações técnicas e quantitativas. Já no DDE, são definidos as formas e estilo da carenagem externa, do painel de instrumentos e da iluminação, iniciando-se a geração de alternativas. O DDM agrupa as atividades de projeto dos módulos de soluções para as funções principais do produto, gerando protótipos virtuais que podem ser simulados e validados. Por fim, os testes, melhorias e validações do produto final são executados na fase TVF.

O desenvolvimento do processo, também englobado na segunda macro fase do PDP-Automotivo, inicia-se com a fase CDP (conceito do processo), que visa pré-definir o fluxo do processo produtivo e a matéria-prima a ser utilizada. Com isso, a fase de IFE (infraestrutura) dimensiona e implementa a infraestrutura adequada para o processo produtivo definido. O PPP (planejamento e preparação da

produção) objetiva analisar fisicamente se os projetos se integram e atendem aos processos produtivos. O estabelecimento dos princípios e diretrizes necessários para as atividades de produção são estabelecidos na fase CSP (conceito do sistema de produção). A fase de TAP (tecnologia e automação do processo) consolida todos os conceitos em um conjunto de requisitos técnicos exigidos para o adequado funcionamento do processo produtivo. Os testes e validações são realizados na fase TDI (testes das instalações), enquanto que o dimensionamento de aspectos logísticos, como áreas de estoque, fluxo de materiais e rotas de coleta, são desenvolvidos no CLG (conceito logístico). Em seguida, a fase DAR (dimensionamento e alocação de recursos) avalia todos os postos de trabalho, calculando a necessidade de mão de obra para a realização das operações da cada posto. Por fim, as fases PSP (pré-série da produção) e IPS (início da produção seriada) são responsáveis, respectivamente, pela fabricação dos primeiros protótipos e do produto final para distribuição no mercado.

Por sua vez, a macro fase de produção e melhoria contínua visa identificar pontos a serem melhorados tanto no produto como no processo e representa a macro fase final do PDP-Automotivo. Esta macro fase é composta pelas fases: EDP (estabilidade do processo), EDS (estabilidade da série), RTC (redução dos tempos de ciclo), RAR (redimensionamento e alocação de recursos), PRS (produção seriada), DDS (descontinuação da série) e RVT (revisão técnica). As fases EDP (estabilidade do processo) e EDS (estabilidade da série) consistem na verificação das estações operacionais e da repetibilidade do produto, identificando as oportunidades de otimização. Depois de estabilizado o processo produtivo, a RTC (redução dos tempos de ciclo) aumenta a capacidade produtiva por meio da eliminação de desperdícios de tempo, dando início ao RAR (redimensionamento e alocação de recursos). Em seguida, na PRS (produção seriada) é realizada a otimização dos recursos de mão de obra transferindo-se determinadas operações para outros postos de trabalho. Ao final do PDP-Automotivo, as fases DDS (descontinuação da série) e RVT (revisão técnica) acompanham as definições estratégicas de descontinuidade do produto, bem como realizam uma análise e consolidam as informações levantadas ao longo do processo de desenvolvimento do produto.

A partir da fundamentação teórica acima apresentada, foi selecionado um modelo de referência base para o desenvolvimento da metodologia. Os modelos de referência consistem em um conjunto de atividades inseridas num contexto genérico e, por isso, devem ser desenvolvidos e adaptados às especificidades da realidade em que será aplicado. Desta forma, apesar de selecionado apenas um modelo como base, os demais modelos de referência apresentados são fundamentais para garantir que as adaptações propostas estejam de acordo com as melhores práticas de PDP.

## 4 METODOLOGIA DESENVOLVIDA

*O presente capítulo apresenta a metodologia adotada, derivada do estudo apresentado na capítulo anterior, e as atividades realizadas para o desenvolvimento do estudo de caso nesta dissertação.*

### 4.1 METODOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O PROJETO CICLAR

Com base nos modelos de referência supracitados, adaptações foram feitas a fim de se obter a melhor metodologia para um projeto de produto a ser desenvolvido em um ambiente universitário. Os projetos desenvolvidos em âmbito universitário visam criar um ambiente colaborativo que permita o desenvolvimento de competências técnicas e transversais dos estudantes envolvidos. Neste sentido, Azevedo *et al* (2012) estabelecem cinco características fundamentais deste tipo de projeto:

- i. Propor um projeto real que permita inovação tecnológica, benefícios para a comunidade e possibilidade de recursos para a execução;
- ii. Ser desenvolvido a partir de uma estrutura organizacional que una desenvolvedores e aprendizes (estudantes), apoiadores (docentes responsáveis) e beneficiados com o projeto (comunidade);
- iii. Acompanhar e avaliar a aprendizagem e resultados técnicos do projeto ao longo de todo seu processo de desenvolvimento;
- iv. Associar o projeto às disciplinas de graduação dos diferentes cursos envolvidos;
- v. Buscar apoio institucional para levantamento de recursos para o projeto.

Neste contexto, buscou-se adaptar o Modelo de Referência Mecatrônico proposto por Barbalho (*op. cit.*), a fim de se obter uma metodologia que atenda melhor os requisitos de um projeto universitário. A escolha deste modelo como base para a formulação da metodologia de desenvolvimento de produto no âmbito universitário se deu devido ao fato de o mesmo ser minuciosamente descrito, evidenciando as inter-relações e entradas e saídas das atividades, disponibilizando diversos *templates* que facilitam o desenvolvimento da documentação. Na adaptação do modelo, como só é previsto o desenvolvimento e fabricação de um único protótipo, algumas fases foram agrupadas de forma a simplificar o processo e diminuir o número de fases de desenvolvimento do produto, conforme mostrado na Figura 7.

Também foi levado em consideração o modelo unificado e o PDP-Automotivo, visando desenvolver uma metodologia que esteja de acordo com as melhores práticas estabelecidas e que atenda as particularidades do contexto do projeto Cicular. Em seguida, são apresentadas sumariamente as adaptações propostas do processo de desenvolvimento de produto definidas e implementadas no presente trabalho.

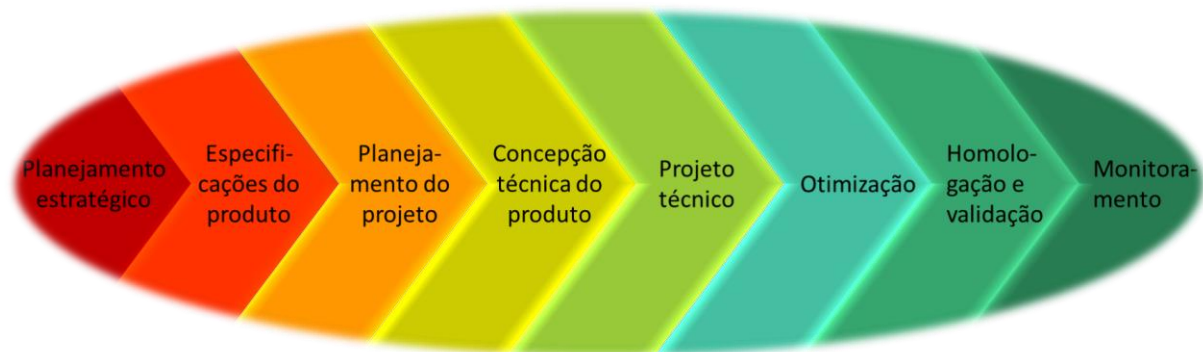


Figura 7. Fases do modelo de referência MRM adaptadas ao projeto em questão  
Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.1.1 Planejamento estratégico

A partir da proposta acadêmica, o planejamento estratégico visa justificar o desenvolvimento do produto como forma de solução para o problema proposto pelos docentes. Com base em dados do mercado, os estudantes definem as diretrizes do produto, consolidam informações tecnológicas que auxiliaram na elaboração da solução e realizam um levantamento dos principais produtos concorrentes, ou seja, produtos existentes no mercado que atendem necessidades semelhantes, exercendo ou não as funções similares ao produto a ser desenvolvido. A Figura 8 mostra as atividades desenvolvidas nessa fase.

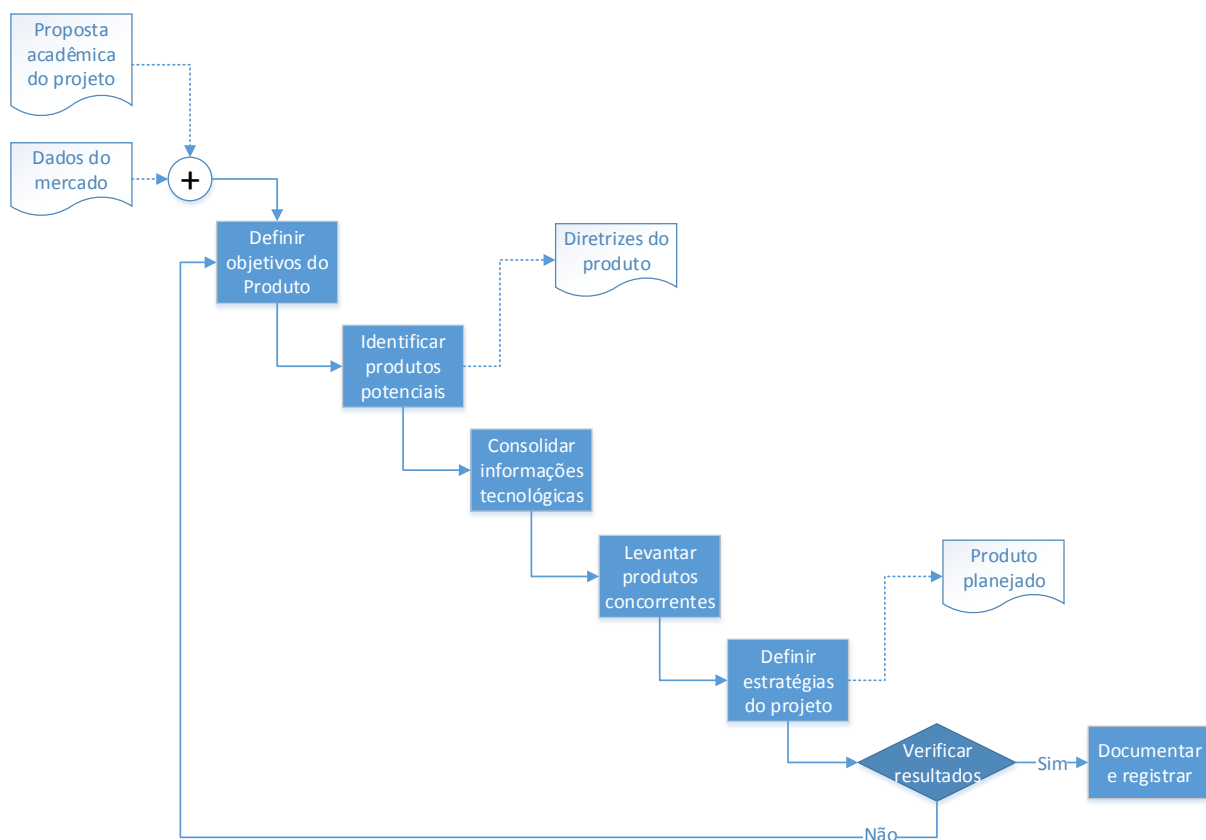


Figura 8. Planejamento estratégico  
Fonte: Elaborado pela autora

### 4.1.2 Especificações do produto

A fase das especificações do produto tem como resultado a definição de especificações meta do produto, definindo-se assim, um conceito preliminar do produto. Neste processo, a identificação de restrições do projeto é o primeiro ponto a ser analisado, uma vez que iniciativas universitárias são caracterizadas por apresentar grandes limitações. Com as restrições de desenvolvimento conhecidas, parte-se para o levantamento das necessidades dos clientes e requisitos normativos. Estes insumos dão base para a transformação destes requisitos em parâmetros técnicos e mensuráveis do produto, denominados métricas da qualidade do produto. Uma vez definidas estas métricas, baseando-se na análise dos concorrentes e na tecnologia disponível, são estipulados valores meta para cada parâmetro do produto. A Figura 9 mostra o processo de especificações do produto.

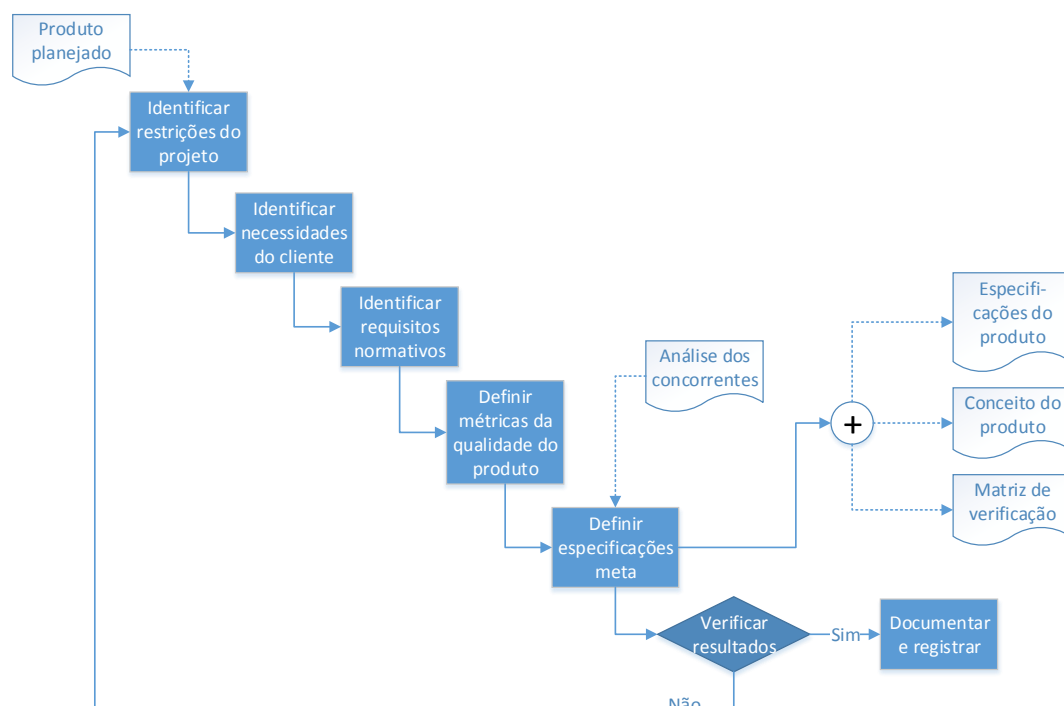


Figura 9. Especificações do produto  
Fonte: Elaborado pela autora

### 4.1.3 Planejamento do projeto

No planejamento do projeto a estrutura de trabalho é definida e os recursos são mensurados e alocados de acordo com as atividades do PDP. Como os projetos universitários são formados por estudantes que apresentam diferentes horários e atividades, um dos pontos críticos deste tipo de iniciativa é a comunicação. Assim, especial atenção deve ser dada no planejamento da comunicação para que todos estejam atualizados com relação ao processo de desenvolvimento do produto. A partir da consolidação do plano do projeto, um processo seletivo é realizado para estruturar a equipe de estudantes. Como o objetivo central dos projetos universitários é a criação de um ambiente colaborativo, devem ser selecionados estudantes de diferentes cursos e níveis acadêmicos, criando uma equipe multifuncional. Uma representação gráfica do processo de planejamento do produto pode ser vista na Figura 10.

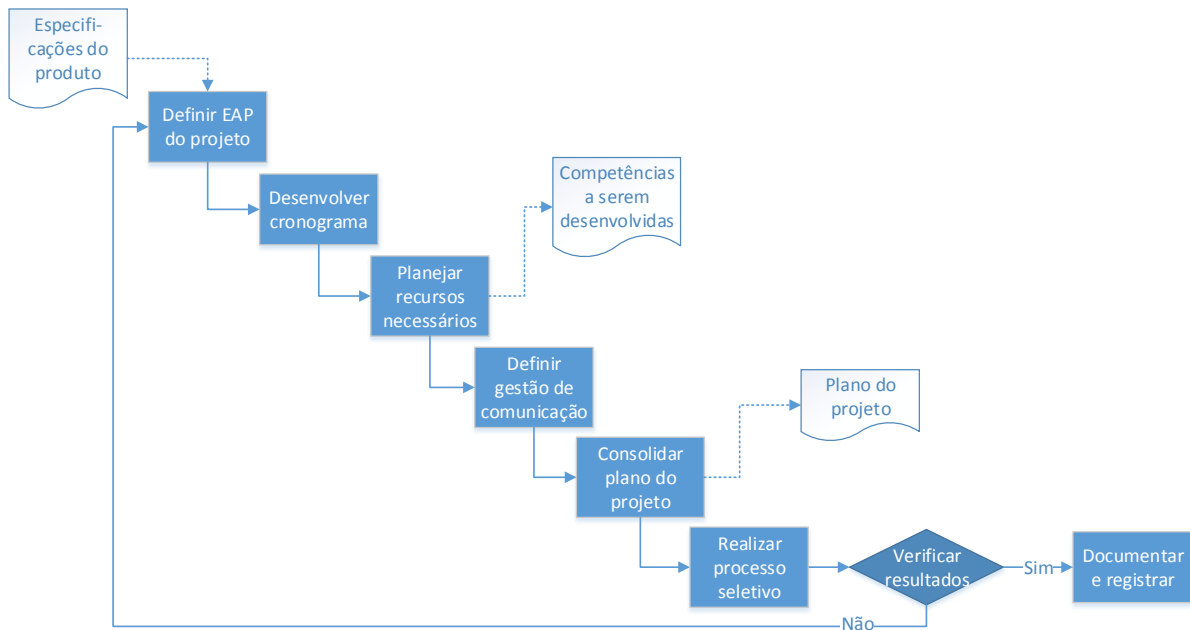


Figura 10. Planejamento do projeto  
Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.1.4 Concepção técnica do produto

Na fase de concepção do produto, um único conjunto de princípios de solução para as funções primárias do produto é selecionado. As funções do produto são definidas e alternativas de concepção são elaboradas para serem submetidas a um processo de seleção, baseados em critérios pré-definidos. Selecionada uma concepção de produto, inicia-se a modelagem e sistematização dos aspectos técnicos e de custos do produto. As interfaces de controle são especificadas por meio do desdobramento das especificações do produto e a árvore do produto é desenvolvida. O processo relativo às atividades de concepção do produto é mostrado na Figura 11.

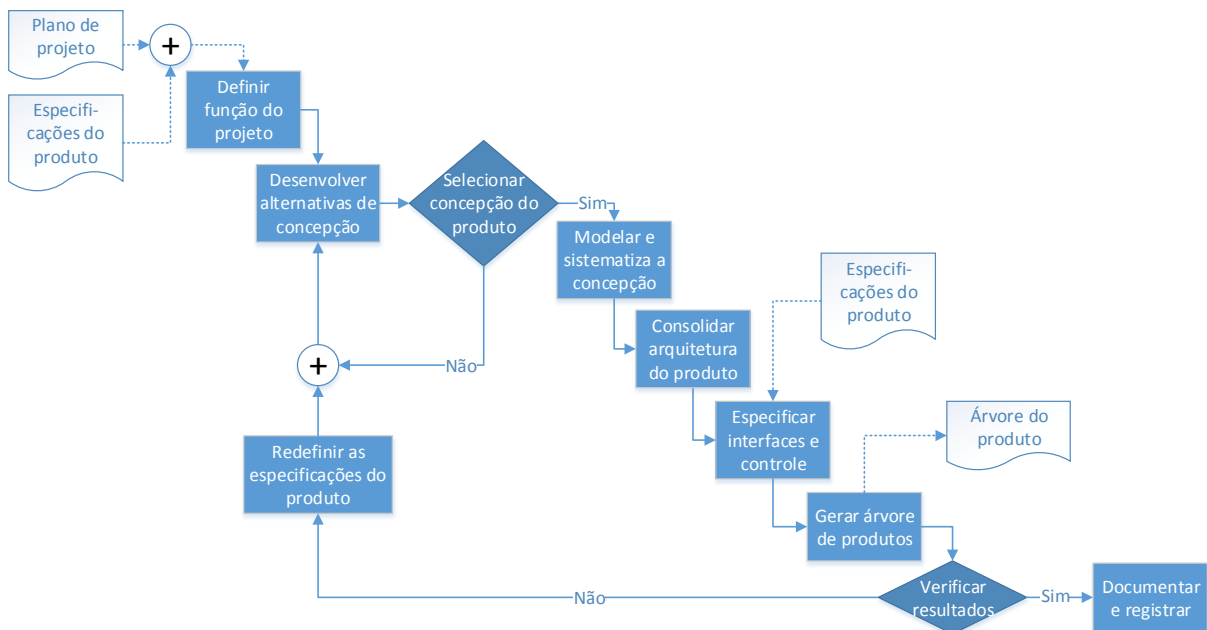


Figura 11. Concepção do produto  
Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.1.5 Projeto técnico

Na fase de projeto técnico, as diferentes áreas desenvolvem de forma integrada soluções para as funções primárias do produto, visando prepará-lo para sua fabricação. Assim, a capacitação dos estudantes é fundamental para o desenvolvimento dos projetos dos sistemas, subsistemas e componentes do produto. Com o desenvolvimento dos projetos, identifica-se as aquisições necessárias e a fabricação de componentes é iniciada. O processo de desenvolvimento do projeto técnico é mostrado a seguir (Figura 12).

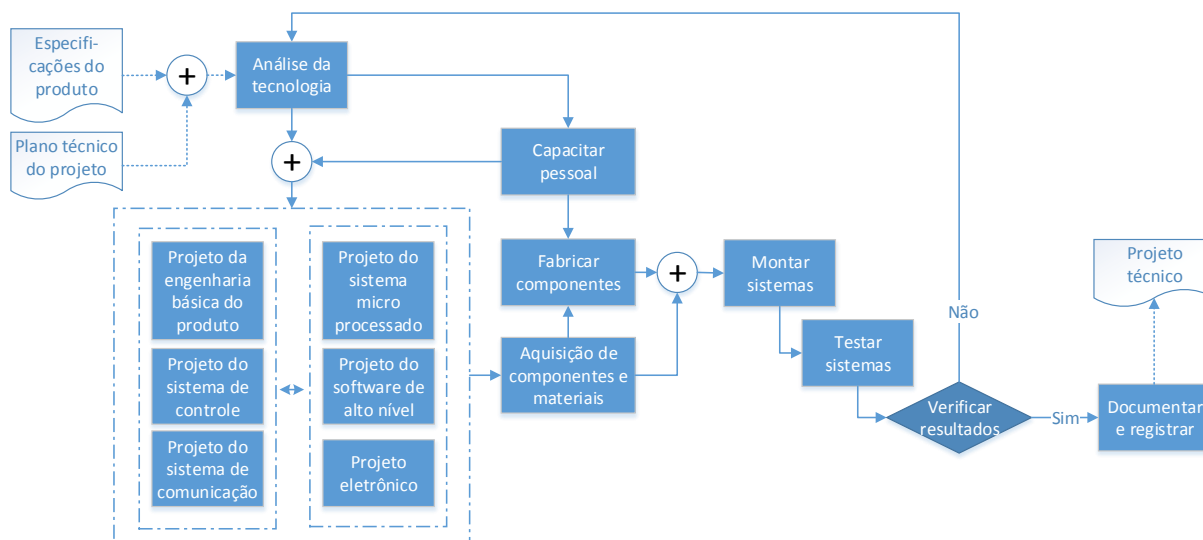


Figura 12. Projeto técnico  
Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.1.6 Otimização

Na fase de otimização, busca-se desenvolver soluções para funções secundárias, porém sua principal função é aumentar a robustez e confiabilidade do produto por meio de diversas análises de possíveis falhas do produto. Esta fase encerra a etapa de fabricação do produto e, por isso, é fundamental que se verifique as especificações estabelecidas e requisitos normativos para que o produto possa ser validado. A Figura 13 mostra o fluxo de atividades da fase de otimização.

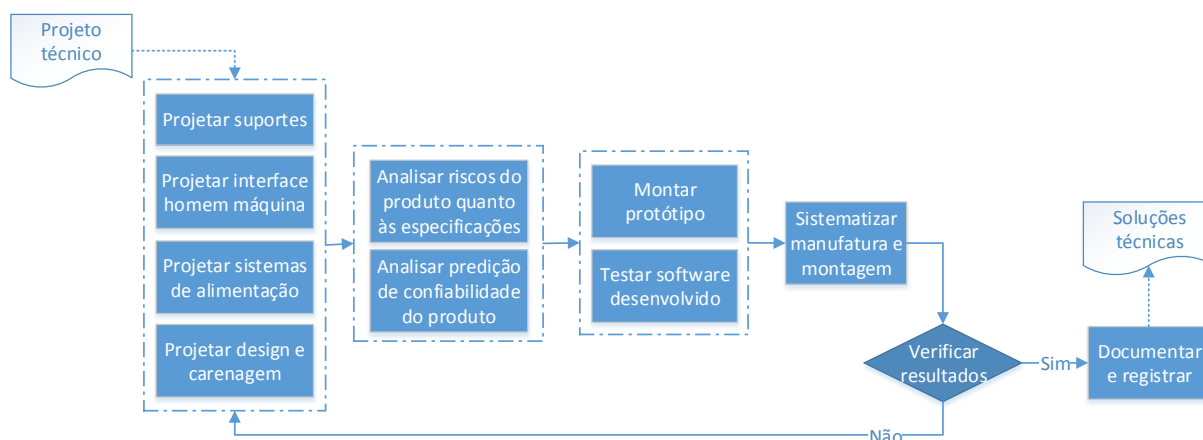


Figura 13. Otimização  
Fonte: Elaborado pela autora



#### 4.1.7 Homologação e validação

A fase de homologação e validação consiste no processo de obtenção de permissão para utilização do produto desenvolvido. Ademais, registra-se o design desenvolvido para proteção contra fraudes. Vale ressaltar que para finalização desta fase, o produto deverá atender a todos os requisitos normativos impostos ao mesmo, de forma a atender a lei que o regulamenta. A Figura 14 ilustra o processo de homologação e validação.

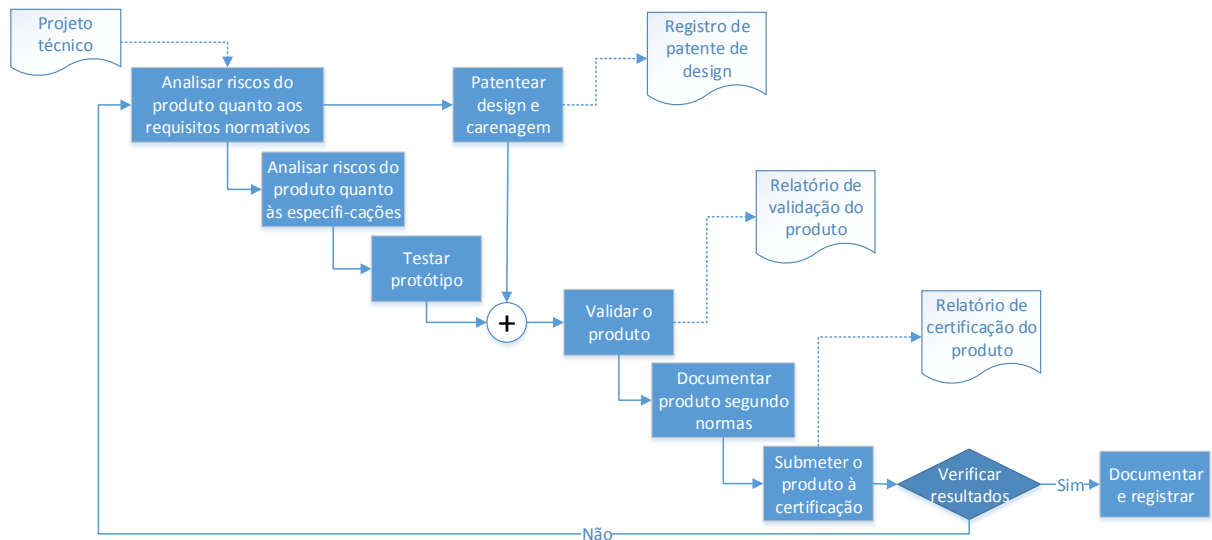


Figura 14. Homologação e validação

Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.1.8 Monitoramento

A fase de monitoramento inicia com a disponibilização do produto para o usuário. A partir de então, o uso do produto será monitorado e seu desempenho será acompanhado e medido por meio de indicadores pré-definidos. Como o intuito do projeto é desenvolver conhecimento, o protótipo também é disponibilizado para estudos de outras equipes e estudantes universitários. Assim, novas oportunidades de projetos acadêmicos podem ser identificadas. O processo de monitoramento é um processo contínuo, conforme mostrado na Figura 15.

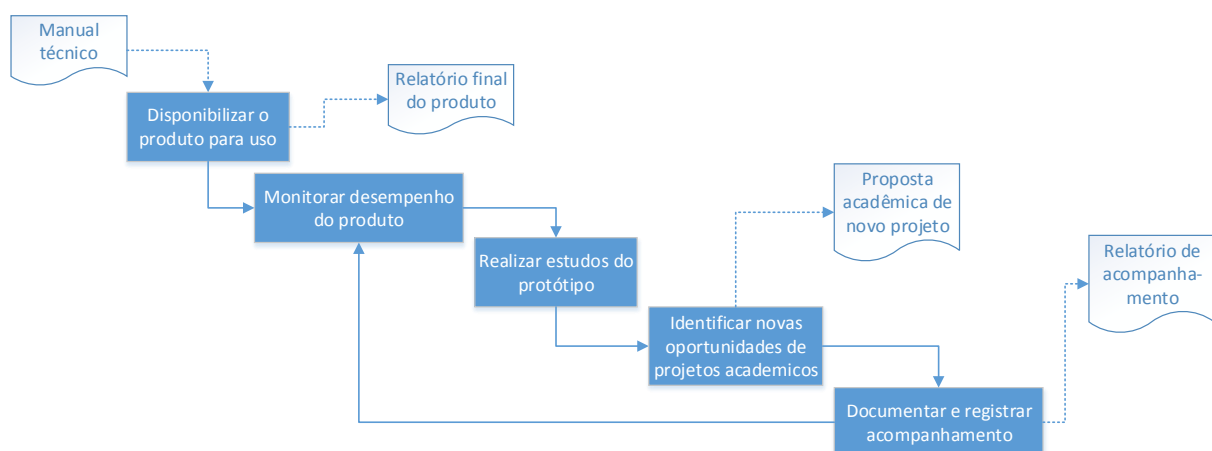


Figura 15. Monitoramento

Fonte: Elaborado pela autora

## 4.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de todas as macro fases da metodologia de PDP apresentada, exceto a macro fase de homologação e validação e a macro fase de monitoramento. Essas duas fases não foram desenvolvidas visto que o produto escopo do estudo de caso ainda se encontra no processo de fabricação e montagem. Contudo, as adaptações realizadas nestas fases, conforme descritas acima, também englobam as especificidades do contexto do Ciclar.

Para a aplicação da metodologia proposta, inicialmente foi realizado um levantamento da situação das macro fases do PDP de acordo as situações anteriores ao desenvolvimento do trabalho ora relatado. Dessa forma, a aplicação da metodologia sistêmica de PDP proposta será guiada a partir deste levantamento, objetivando aplicar e/ou melhorar a situação do processo como um todo. As atividades das macro fases foram classificadas em: não realizado; realizado parcialmente e sem documentação; realizado e não documentado; realizado conforme planejamento e parcialmente documentado; e realizado e documentado, conforme mostrado na Tabela 2.

*Tabela 2. Situação das atividades das macro fases antes da aplicação da metodologia proposta*

Macro Fase	Atividade	Situação Anterior
Planejamento estratégico	Definir objetivos do Produto	Realizado conforme planejamento
	Identificar produtos potenciais	Não realizado
	Consolidar informações tecnológicas	Realizado
	Levantar produtos concorrentes	Não realizado
	Definir estratégias do projeto	Realizado
Especificações do produto	Identificar restrições do projeto	Realizado conforme planejamento
	Identificar necessidades do cliente	Realizado
	Identificar requisitos normativos	Realizado conforme planejamento
	Definir métricas da qualidade do produto	Realizado
	Definir especificações meta	Realizado conforme planejamento
Planejamento do projeto	Definir EAP do projeto	Realizado e documentado
	Desenvolver cronograma	Realizado conforme planejamento
	Planejar recursos necessários	Realizado e documentado
	Definir gestão de comunicação	Realizado conforme planejamento
	Consolidar plano do projeto	Realizado conforme planejamento
	Realizar processo seletivo	Realizado conforme planejamento
Concepção técnica do produto	Definir função do projeto	Realizado
	Desenvolver alternativas de concepção	Realizado
	Modelar e sistematizar a concepção	Realizado conforme planejamento
	Consolidar arquitetura do produto	Realizado parcialmente
	Especificar interface controle	Realizado
	Gerar árvore de produtos	Realizado

Macro Fase	Atividade	Situação Anterior
Projeto técnico	Análise da tecnologia	Realizado
	Capacitar pessoal	Realizado
	Projeto da engenharia básica do produto	Realizado
	Projeto do sistema de controle	Realizado conforme planejamento
	Projeto do sistema de comunicação	Realizado conforme planejamento
	Projeto do sistema micro processado	Realizado conforme planejamento
	Projeto do software de alto nível	Realizado
	Projeto eletrônico	Realizado conforme planejamento
	Aquisição de componentes	Realizado
	Fabricar componentes	Realizado
	Montar sistemas	Realizado
	Testar sistemas	Realizado
Otimização	Projetar suportes	Realizado parcialmente
	Projetar interface homem máquina	Realizado
	Projetar sistemas de alimentação	Realizado
	Projetar design e carenagem	Realizado
	Analisar riscos do produto quanto às especificações	Não realizado
	Analisar predição de confiabilidade do produto	Não realizado
	Montar protótipo	Realizado conforme planejamento
	Testar software desenvolvido	Realizado conforme planejamento
	Sistematizar manufatura e montagem	Realizado conforme planejamento

Neste sentido, a parte II relatada a seguir consiste na própria sistematização do PDP do veículo elétrico. Assim, serão documentados todas as atividades do desenvolvimento do produto, visando obter um documento completo e ordenado descrevendo o veículo desenvolvido. Ademais, as atividades definidas na metodologia proposta e que não foram realizadas até então serão desenvolvidas de maneira a aplicar as melhores práticas de PDP ao Ciclar.

**PARTE II**

**ESTUDO DE CASO**

## 5 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO PRODUTO

*O planejamento estratégico do produto apresenta um estudo preliminar da oportunidade de se desenvolver um novo produto, buscando informações do mercado referentes a potenciais concorrentes, perspectiva tecnológica e requisitos normativos.*

### 5.1 JUSTIFICATIVA DO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Perante a crise ambiental que o mundo vivencia, os países buscam cada vez mais por diretrizes que visem amenizar o impacto do homem sobre o meio ambiente. Em 2006, a presidência da república brasileira instituiu o decreto nº 5940 (2006), que regulamenta a prática da coleta seletiva de resíduos recicláveis nos órgãos e entidades federais, bem como sua devida destinação às cooperativas de catadores de materiais recicláveis sem fins lucrativos. Desta forma, além de incentivar o processo de educação ambiental, a coleta seletiva também diminui a exploração de recursos naturais, reduz o desperdício e gera renda por meio do fortalecimento de organizações comunitárias e da comercialização de produtos recicláveis.

Todavia, o processo de coleta de materiais não é capaz de suprir a amenização demandada pelo meio ambiente no que diz respeito aos impactos humanos. No Brasil, o segmento de transporte é responsável por 32% do uso energético, sendo que deste consumo, 83% é proveniente de fontes não renováveis, conforme mostrado na Figura 16. Por consequência, os transportes são os principais responsáveis pela emissão antrópica de CO<sub>2</sub> no país, chegando a emitir 215,3 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> no ano de 2013, número de representa cerca de 46,90% do total.

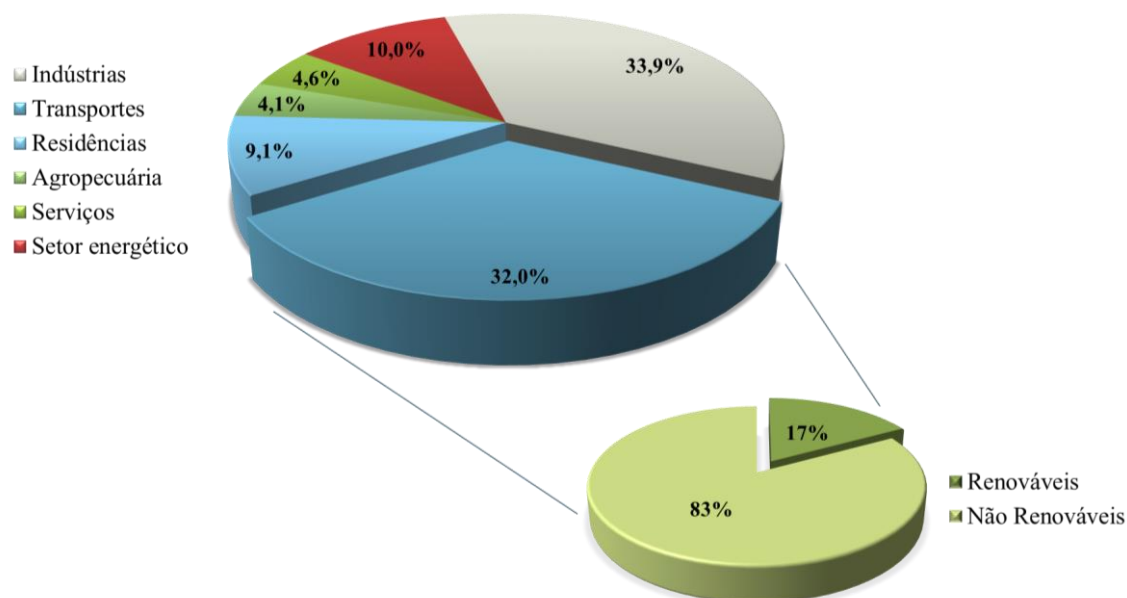


Figura 16. Uso de Energia no Brasil

Fonte dos dados: Balanço Energético Nacional - BEN 2014 | Ministério de Minas e Energia - MME

Não é por menos que em 2013 o Brasil foi o quarto país que mais vendeu veículos no mundo, atingindo aproximadamente 3,6 milhões de veículos comercializados. Por outro lado, a matriz energética brasileira é considerada uma das mais renováveis do mundo, e muito se deve as condições hidrológicas favoráveis e o aumento de geração eólica na geração de energia elétrica. A matriz elétrica mundial é composta em média por 20,3% de renováveis, enquanto que no Brasil 79,3% da eletricidade gerada é de fontes renováveis, sendo 70,6% de fonte hidráulica (Figura 17). Com estes índices tão favoráveis, ao longo dos últimos 30 anos o país evitou a emissão de cerca de 800 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.

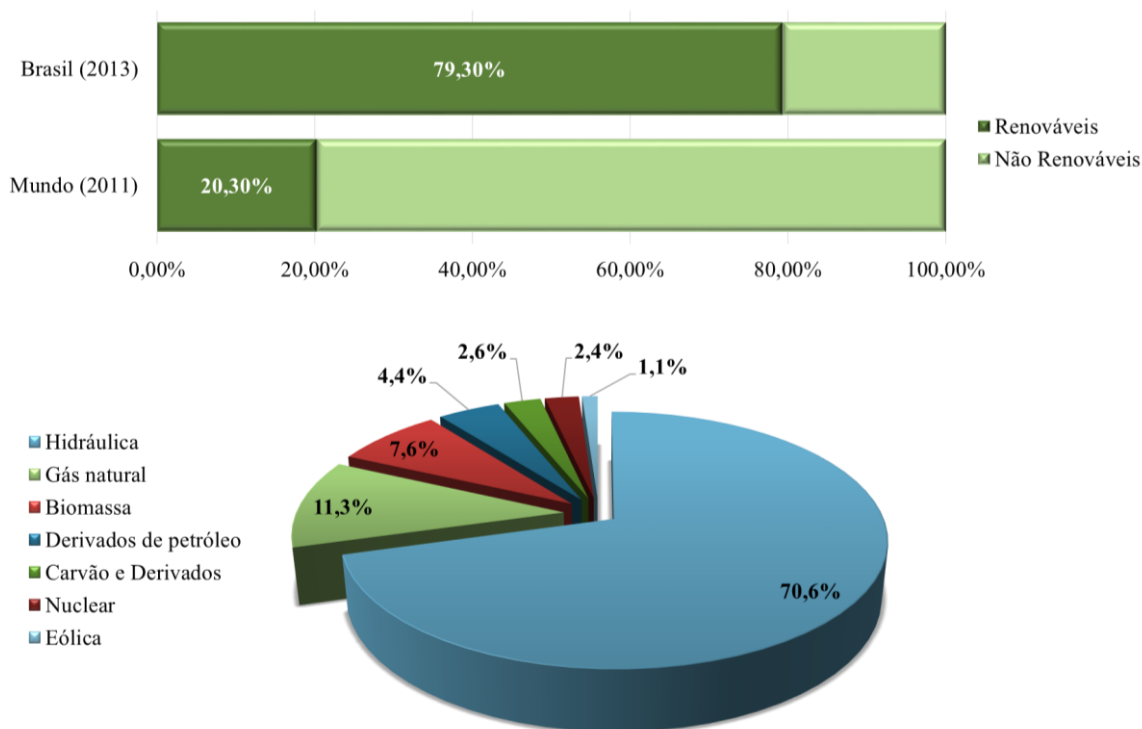


Figura 17. Matriz Elétrica Brasileira

Fonte dos dados: Balanço Energético Nacional - BEN 2014 | Ministério de Minas e Energia - MME

Assim, seria este benefício um motivo para acomodação no que diz respeito ao meio ambiente? Ou seria uma oportunidade de exploração dos recursos oferecidos pelo país para se desenvolver tecnologicamente de maneira sustentável?

Com efeito, uma vez que a energia elétrica produzida no país pode ser considerada limpa, o tema veículo elétrico está se destacando como oportunidade de desenvolvimento tecnológico no Brasil. Os motores de combustão possuem uma faixa de eficiência entre 25% a 35%, enquanto que os veículos elétricos, além de possuírem uma menor perda de atrito na transmissão, são capazes de atingir até 90% de eficiência. Ademais, a frenagem regenerativa reduz de maneira considerável o consumo energético.

Apesar de parecer algo novo e distante, já circulam no mundo cerca de 4,5 milhões de veículos híbridos e 200 mil com motor 100% elétricos. O país que mais consome este tipo de veículo é o Japão, seguido pelos Estados Unidos e Reino Unido. Entretanto, no Brasil são apenas 70 carros elétricos dos quais 68 são pertencentes a empresas. Este índice de aquisição brasileira é baixo porque as tecnologias envolvidas nos veículos são importadas e, por isso, atualmente ainda não há veículo elétrico sendo

fabricado no Brasil. Assim, para se ter um carro elétrico no país é necessário pagar taxa de 35% de importação, 55% de IPI, 13% de PIS/Confins e de 12% a 18% de ICMS, podendo o total de taxas chegar à 120% do valor do veículo, resultando em um custo de R\$ 120 mil a R\$ 130 mil reais. Esta taxação é representada graficamente na Figura 18.

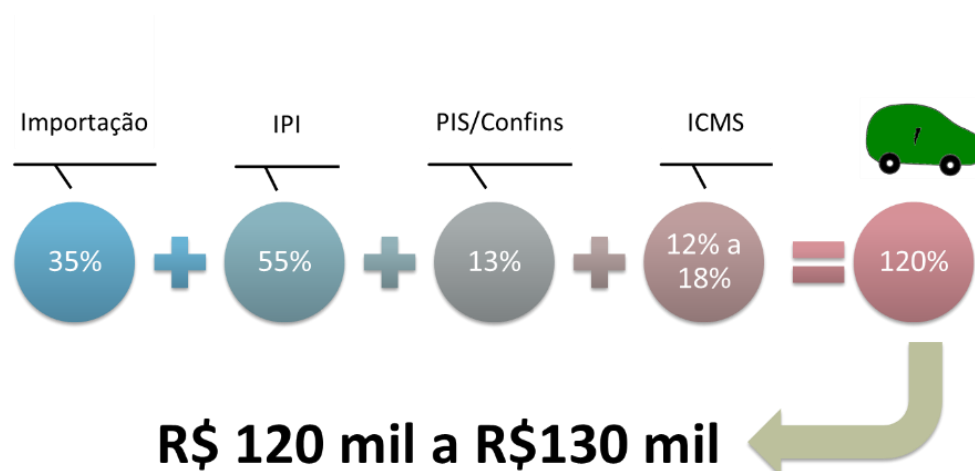


Figura 18. Representação gráfica dos impostos na importação de um veículo elétrico  
Fonte dos dados: Globo News | Cidades e Soluções (10/04/2013)

Neste contexto, surge o conceito do Ciclar que visa projetar, desenvolver e fabricar um veículo 100% elétrico que será destinado à coleta seletiva do campus universitário Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília (UnB). O Ciclar conta com o apoio de estudantes universitários de diferentes áreas e auxílio de professores e profissionais, que juntos buscam a melhor solução para atingir os objetivos propostos. Sendo assim, o produto a ser analisado no presente trabalho consiste em um protótipo originário de uma iniciativa de um grupo de professores e estudantes da UnB. Vale ressaltar que o projeto tem por objetivo não somente o desenvolvimento de tecnologias nacionais, mas também o desenvolvimento do papel social e ambiental dos estudantes envolvidos.

## 5.2 OS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os avanços tecnológicos nos veículos elétricos são indiscutíveis, mas ao contrário do que muitos acreditam, a tecnologia dos veículos elétricos não representa uma inovação tecnológica recente, visto que em essência o conceito básico se mantém desde o início da indústria automobilística. Há registros de que o primeiro veículo independente a rodar com eletricidade foi fabricado na Escócia na década de 1830. Entretanto, sua fonte energética não era recarregável, o que lhe concedeu um tempo de vida bastante limitado. Como desde o início uma das principais dificuldades dos veículos elétricos é quanto à sua fonte de energia, é evidente que sua história é intimamente relacionada à história das baterias. A primeira bateria de chumbo e ácido (Figura 19) foi desenvolvida em 1859 pelo belga Gaston Planté, e veio a ser muito utilizada em veículos elétricos desenvolvidos no início da década de 1880 na França,

EUA e Reino Unido, mas muitos consideram que o primeiro automóvel elétrico real foi produzido apenas em 1891 por William Morrison, em Iowa.

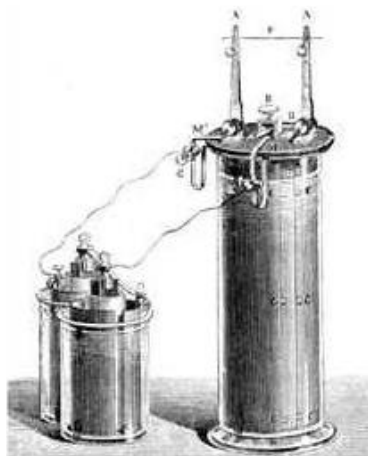


Figura 19. Primeira bateria de chumbo ácido a ser comercializada  
Fonte: <[www.timerime.com](http://www.timerime.com)>

Outros fatores que também ajudaram a melhorar o desempenho dos carros elétricos foram a frenagem regenerativa e o sistema hídrico à gasolina e eletricidade, sistemas que surgiram entre 1890 e 1900. No final do século XIX, foram criadas as baterias níquel-zinco e zinco-ar, o que afetaram diretamente a concorrência das tecnologias de propulsão automotiva: carro elétrico, a vapor e a gasolina. Em 1897 estava operando em Nova York uma frota de aproximadamente 1.500 taxis elétricos e em 1901, Thomas Edison desenvolveu a bateria níquel-ferro, que, apesar de possuir um custo de produção mais elevado, conseguia armazenar 40% mais energia que a bateria de chumbo. A Figura 20 apresenta o veículo elétrico utilizado na frota de taxis de Nova York em 1897.

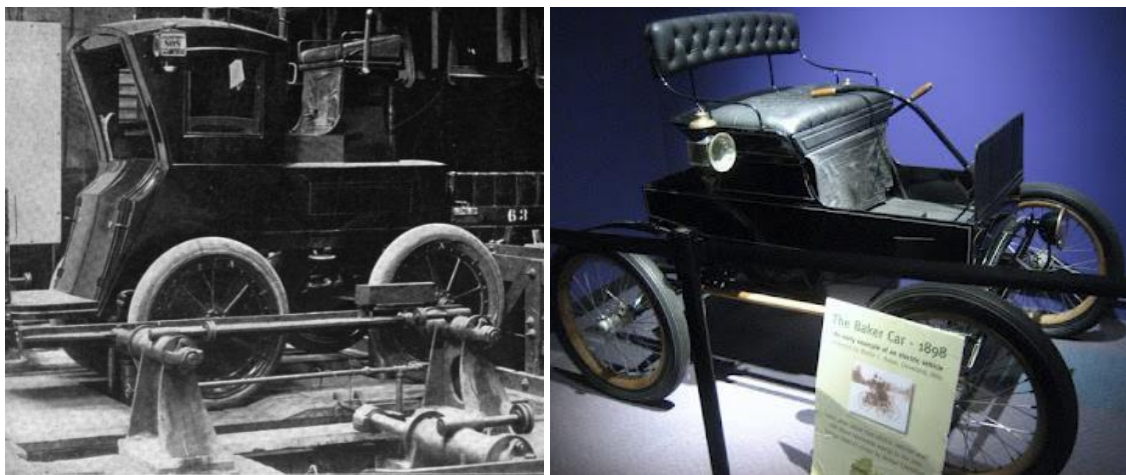


Figura 20. Modelo do veículo elétrico da frota de taxis de Nova York  
Fonte: <[www.earlyamericanautomobiles.com](http://www.earlyamericanautomobiles.com)>

Em 1903 haviam registrados cerca de 4 mil carros na cidade de Nova York, dos quais 53% a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos. O ápice de 30 mil veículos elétricos na cidade foi atingido em 1912, mas, nesta mesma época, o número de carros a gasolina era 30 vezes maior. O desenvolvimento do Modelo T de Henry Ford, com motor a combustão e produção em massa, tornou o mercado de automóvel



acessível às massas, destinando a popularidade dos veículos elétricos ao declínio. A produção em massa de Ford reduziu o custo de fabricação do carro à combustão interna, permitindo que o preço final ao consumidor ficasse entre U\$ 500 e U\$ 1000, metade do preço dos elétricos. Ademais, em 1912 a manivela utilizada para acionar o motor dos carros a gasolina foi eliminada com a invenção da partida elétrica, fator que, juntamente com a disponibilidade da gasolina e a fácil manutenção dos automóveis a gasolina, impulsionaram ainda mais a transição para os carros a combustão. Em 1920, a interligação de diversas cidades nos EUA por rodovias demandava veículos capazes de percorrer longas distâncias em tempos cada vez mais curtos, fazendo com que os carros elétricos praticamente desaparecessem.

A partir dos anos de 1930, os veículos elétricos eram apenas utilizados em algumas cidades dos EUA e Reino Unido com atuação muito limitada sendo destinados a serviços como coleta de lixo, entregas e distribuição de leite. Alguns picos de produção foram observados nos dois países durante a primeira e segunda guerra mundiais, fator resultante do racionamento de gasolina e diesel. No período pós-guerra, também se pode observar uma certa popularidade dos carros elétricos no Japão, que também passava por um período de racionamento de combustível. Entretanto, na década de 1950, o racionamento cessou e a produção dos veículos elétricos foi descontinuada no país.

Apenas na década de 1960 a ideia do veículo elétrico voltou a chamar atenção quando os problemas ambientais começaram a ganhar maior destaque. Nesta época, os automóveis foram considerados a principal causa da poluição atmosférica, vista que o chumbo era utilizado como aditivo para a gasolina e não havia filtros nem catalizadores para conter a emissão de gases poluentes. Em 1972, o Clube de Roma atentou para o limite de exploração de recursos naturais não renováveis e em 1973, a crise do petróleo teve como consequência ondas de racionamento em diversos países. Estes fatores foram fundamentais para que a questão ambiental fizesse parte do debate sobre geração e consumo de energia, atentando também para a conscientização a respeito do uso de energia nuclear no que diz respeito à segurança operacional e destinação dos dejetos radioativos.

Mesmo que o período dos anos de 1970 tenha sido propício para os veículos elétricos, que combinavam emissão nula de poluentes e a possibilidade de utilizar fontes renováveis de energia, os protótipos fabricados na época não obtiveram sucesso, uma vez que não estavam aptos a competir com o mercado automotivo convencional. Em 1974, Vanguard-Sebring lançou o CitiCar (Figura 21), carro elétrico que passava dos 48 km/h e possuía autonomia de 64 km. Mas a montadora parou de fabricá-lo visto que o mesmo não apresentava padrões de segurança satisfatórios. Outra tentativa de reinserir o carro elétrico no mercado foi a sua utilização de 350 Jeeps elétricos no serviço postal norte-americano em 1975. Os Jeeps chegaram a percorrer 64 km com velocidade máxima de 80 km/h e possuíam tempo total de recarga de 10 horas. Entretanto, o programa foi interrompido.

Em 1976, foi aprovada pelo congresso norte-americano a lei para estimular o desenvolvimento de veículos elétricos e híbridos e cujo objetivo era melhorar a tecnologia das baterias. Contudo, os grandes fabricantes não se estimularam até o final dos anos de 1980, quando as atenções voltaram-se mais uma vez para a redução da poluição nas grandes cidades, por meio do desenvolvimento sustentável e da

utilização de fonte de energia alternativa no desenvolvimento de novas tecnologias de transporte. No ano de 1988, a General Motors (GM) começou a investir em pesquisas de veículos elétricos voltados para o mercado consumidor.



Figura 21. Modelo de veículo elétrico Citicar  
Fonte: <[www.grassrootsmotorsports.com](http://www.grassrootsmotorsports.com)>

Em 1990, o estado da Califórnia tentou implementar duas normas regulatórias de emissão zero de poluentes e, para isso, as montadoras deveriam oferecer veículos elétricos aos consumidores. A Carb (*California Air Resources Board*), responsável pelo monitoramento da qualidade do ar, definiu uma cota de venda de veículo elétrico de 2% em 1998, 5% em 2001 e de 10% em 2003, e para cada veículo elétrico com emissão zero vendido dentro da cota a montadora receberia um bônus de U\$ 5 mil. Apesar de a GM e a Honda terem aderido a iniciativa, muitas eram as forças contrárias à Carb. A *American Automobile Manufacturers Association* (AAMA), juntamente com outras montadoras, alegaram que além do elevado custo para o consumidor, o chumbo presente nas baterias dos veículos elétricos seriam tão ou mais prejudiciais ao meio ambiente do que a gasolina. Da mesma maneira, as companhias de petróleo contribuíram financeiramente para companhias e propagandas contrárias aos veículos elétricos. Como consequência, em 1996 a Carb postergou por tempo indeterminado o cronograma previsto.

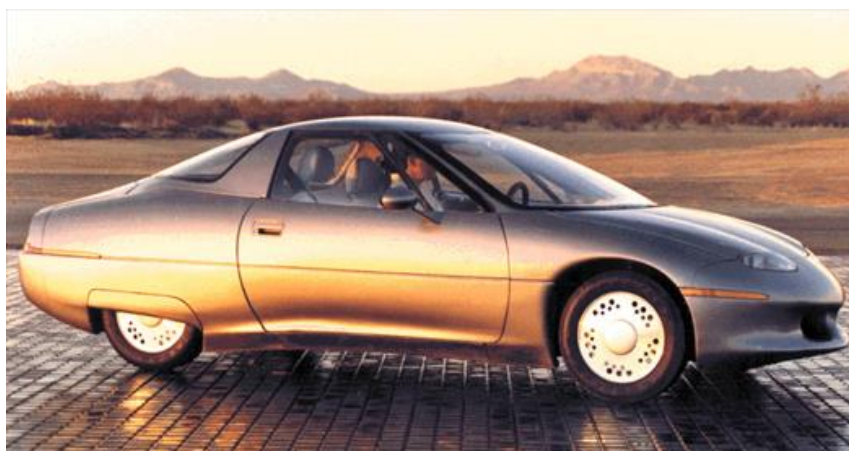


Figura 22. Carro elétrico EV1 da GM  
Fonte: <[www.carrocultura.wordpress.com](http://www.carrocultura.wordpress.com)>

Ainda no ano de 1996, o carro elétrico EV1 (Figura 22) começou a ser comercializado aos consumidores da Califórnia apenas por meio de leasing, contrato no qual a locadora adquire o bem escolhido pelo cliente e o aluga por determinado período. Este veículo era produzido com bateria chumbo-ácido e sua fabricação durou apenas até o ano de 1999, ano em que a GM passou a comercializá-lo com bateria de níquel-hidreto metálico, que era caracterizada por uma recarga melhor. Outra tentativa de comercialização de veículo elétrico na época foi o Toyota RAV4 EV (Figura 23), disponível para leasing empresarial entre os anos de 1997 e 2000. Contudo, nenhum destes modelos conseguiram se manter no mercado, sendo a maioria dos mesmos destruídos pelo fabricante.



Figura 23. Modelo Toyota RAV4 EV  
Fonte: < [www.carinpicture.com](http://www.carinpicture.com) >

Foi a partir de 1997 que o histórico do veículo elétrico começou a mudar com o desenvolvimento do Toyota Prius no Japão, um sedã híbrido (Figura 24). O Prius só chegou no mercado norte-americano em 2000, obtendo um sucesso muito maior que o esperado. Da mesma forma, o híbrido Honda Insight, lançado em 1999 nos EUA, também foi um sucesso imediato. Ambos os efeitos se repetiram pouco tempo depois ao serem comercializados no mercado europeu. O Honda Civic híbrido chegou ao mercado em 2003 com o benefício de apresentar a mesma aparência e dirigibilidade do Civic convencional. No ano de 2004 foi a vez da Ford entrar no mercado dos híbridos com o lançamento do Escape híbrido.



Figura 24. Toyota Prius híbrido  
Fonte: < [www.modernracer.com](http://www.modernracer.com) >

Tendo em vista não somente o aumento da produção de combustíveis de origem renovável, como também a redução da dependência da economia em relação ao petróleo importado, o EUA promulgou em 2007 o programa *Energy Independence and Security Act*. Este programa prevê o investimento entre os anos de 2008 e 2013 de US\$ 95 milhões anuais destinados à pesquisa e desenvolvimento de um sistema de transporte elétrico, e à formação de profissionais especialistas na tecnologia dos veículos elétricos. Ademais, foram destinados US\$ 25 bilhões aos fabricantes que produzirem tanto os veículos híbridos como seus componentes até 2020.

Em 2009, os híbridos atingiram 598.739 unidades no mundo, dos quais 44% estavam locados nos EUA, 41% no Japão e o restante na Holanda, Reino Unido e Canadá. Mas as limitações tecnológicas de baterias ainda são um grande desafio para a evolução dos veículos elétricos.

### 5.3 POTENCIAL DE MERCADO

A indústria automobilística se instalou no Brasil no começo do século passado e desde então se tornou parte do cotidiano e da cultura dos brasileiros. Atualmente, o setor representa cerca de 25% do PIB industrial, com faturamento acima de US\$ 100 bilhões e, não por menos, possui importante papel social e econômico, conforme apresentado na Figura 25.

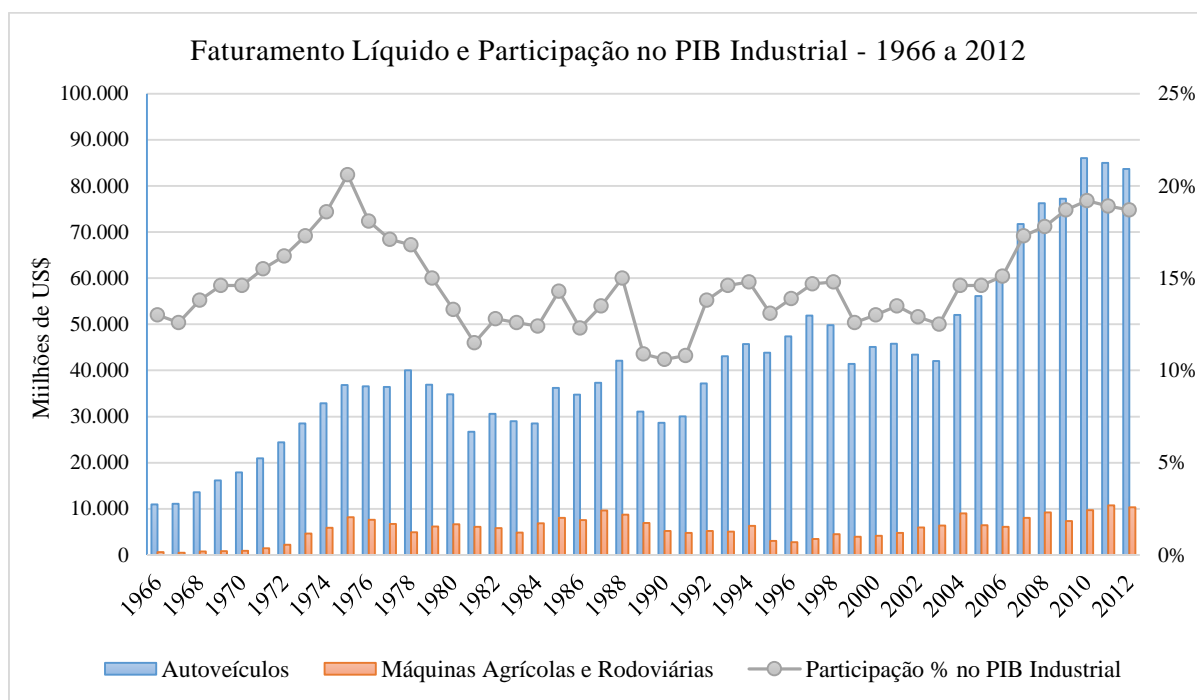


Figura 25. Gráfico de faturamento líquido e participação no PIB da indústria automobilística no Brasil (ANFAVEA, 2014, p. 42)

As 61 unidades industriais espalhadas em 10 estados movimentam uma cadeia gigantesca de fabricantes, fornecedores de matéria-prima, distribuidores, empresas de comunicação, entre outros, empregando milhões de trabalhadores, de forma a gerar renda e fazendo a economia girar (Figura 26). Estes números tendem a aumentar cada vez mais com os investimentos feitos pelas montadoras.



Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2014), o Brasil é considerado o quarto maior mercado automobilístico do mundo e apenas o sétimo maior produtor, gerando uma necessidade de melhorar sua posição no ranking com produtos de alto índice tecnológico, compatíveis com o meio ambiente e contribuindo para o crescimento contínuo do país.



Figura 26. Grandes números da indústria automobilística brasileira (ANFAVEA, *op. cit.*, p. 13)

De acordo com os dados do anuário da ANFAVEA (*op. cit.*), vide Anexo I, é possível observar uma tendência crescente na frota de veículos tanto no Brasil, como nos demais países apresentados. Assim, a partir destes valores, é possível estimar o número de unidade de auto veículos presentes no mundo para o período entre 2002 e 2011, permitindo observar uma tendência crescente da frota mundial para os próximos anos (Figura 27).

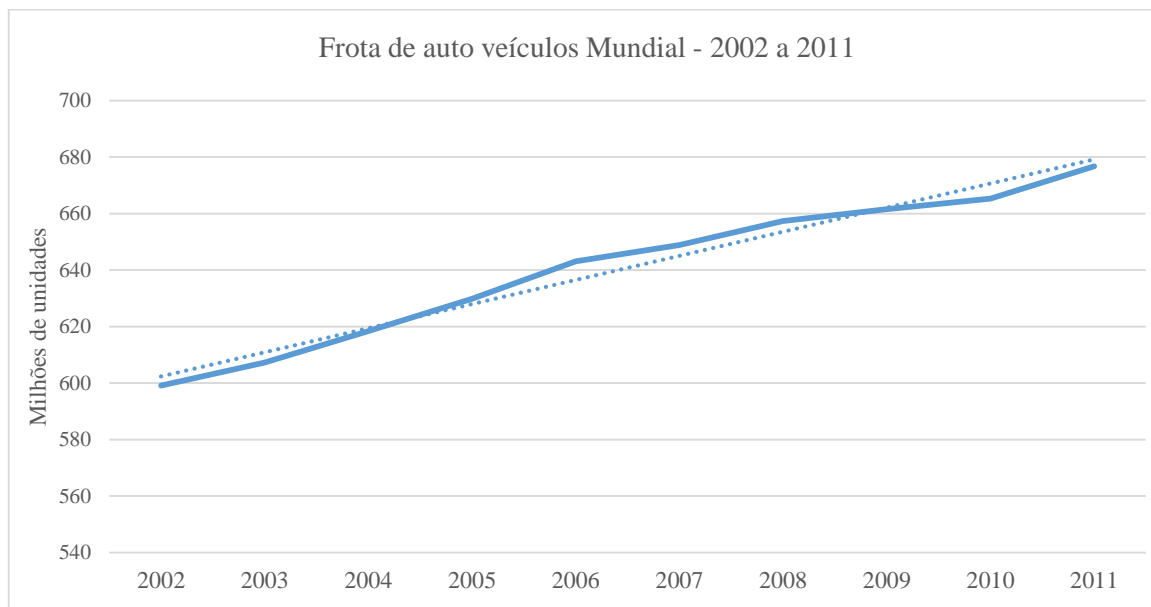


Figura 27. Frota de auto veículos mundial (ANFAVEA, *op. cit.*, p. 144)

Por outro lado, ao se analisar os sete países com as maiores frotas de auto veículos no período de 2002 a 2011, pode-se observar que o Brasil é o que apresenta a maior taxa de crescimento, enquanto que nos países desenvolvidos, a taxa é tão pequena que as frotas praticamente se mantêm as mesmas, conforme mostrado na Figura 28.

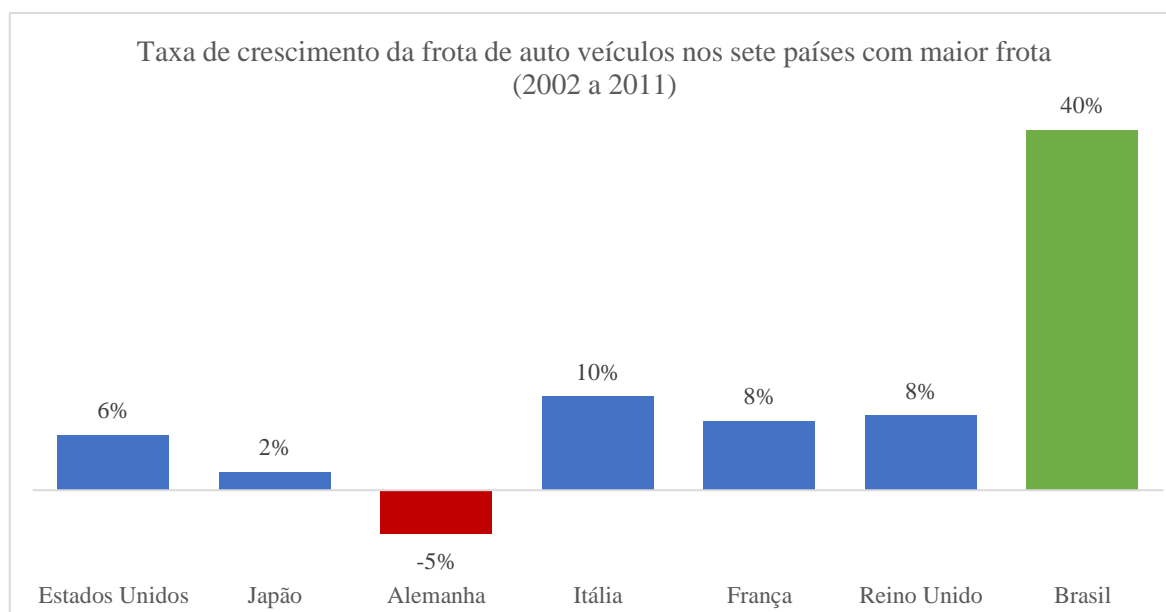


Figura 28. Taxa de crescimento da frota de auto veículos nos sete países com maior frota (ANFAVEA, *op. cit.*, p. 144)

O anuário da ANFAVEA (*op. cit.*) também expõe a estimativa de habitantes por veículo. Conforme mostrado na Figura 29, existe uma tendência decrescente do número de habitantes por veículo tanto mundial, como no Brasil. Entretanto, pode-se observar que os valores apresentados pelo índice brasileiro ainda são muito altos em relação à média mundial, o que implica em uma alta demanda de veículos no Brasil para se atingir os níveis do 1º mundo.

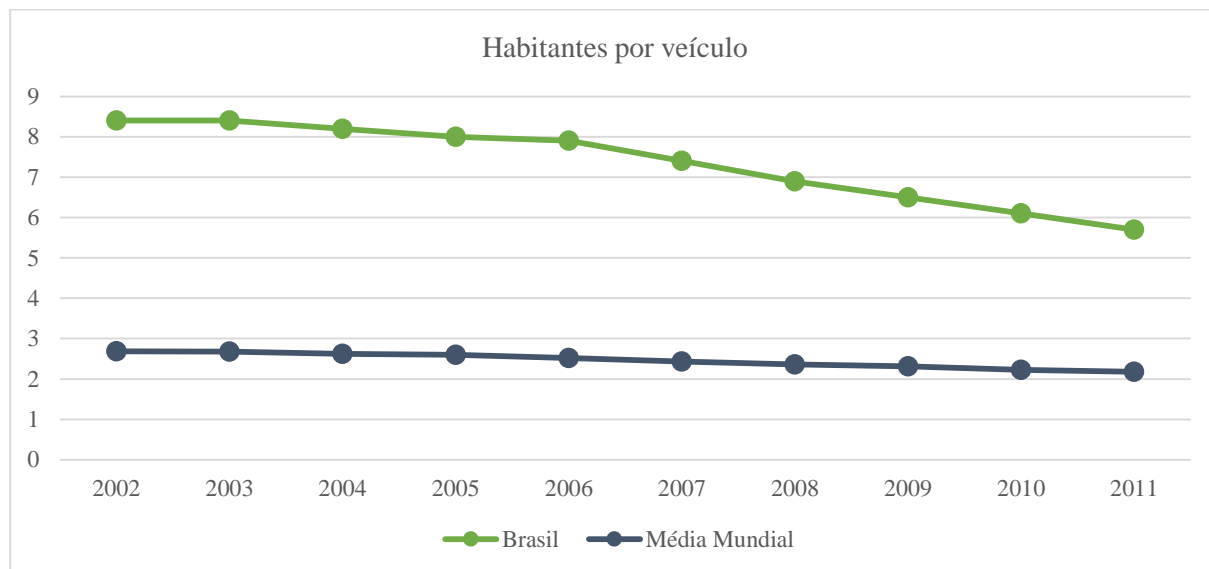


Figura 29. Número de habitantes por veículo  
Fonte dos dados: ANFAVEA, 2014

Como o número de pessoas por veículos diminui com o passar dos anos, deduz-se que se a população estiver crescendo, a frota de veículos cresce mais rapidamente de forma a atender mais pessoas e diminuir a média de pessoas por veículo. Assim, ao se analisar a previsão de habitantes nos países envolvidos na análise supracitada e aplicando-se a regressão de habitantes por veículos, teremos a estimativa de demanda de automóveis para o período entre 2002 e 2010 apresentada na Figura 30.

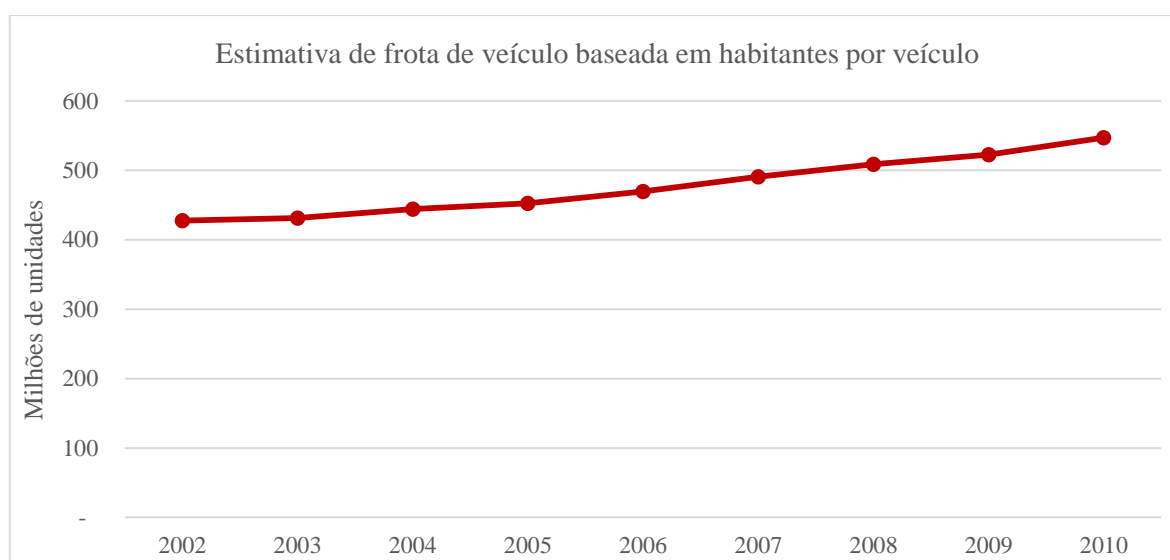


Figura 30. Estimativa da frota de veículos mundiais baseada na análise de hab/veículo  
Fonte dos dados: ANFAVEA, 2014

Uma vez que a frota de veículos está aumentando, espera-se que sua produção também acompanhe tal aumento. De acordo com a ANFAVEA (*op. cit.*), é possível inferir que a produção de veículos nos últimos anos apresenta uma tendência linear (Figura 31), ressalvo o ano de 2009 no qual a crise econômica mundial afetou o setor industrial como um todo.

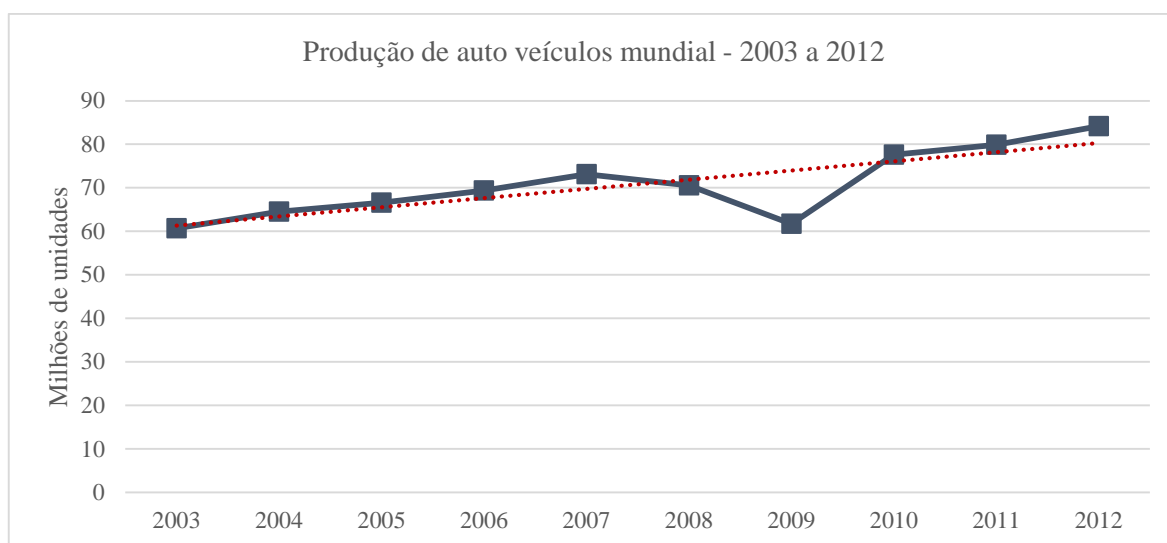


Figura 31. Produção de auto veículos mundial - 2003 a 2012  
Fonte dos dados: ANFAVEA, 2014

Desta produção de veículos, a maior parte é provinda da Ásia, seguida por Europa e América. A Figura 32 mostra o percentual de produção de veículos de cada continente, destacando a participação do Brasil de 4% da produção mundial, representando o sétimo maior país produtor de veículos no mundo.

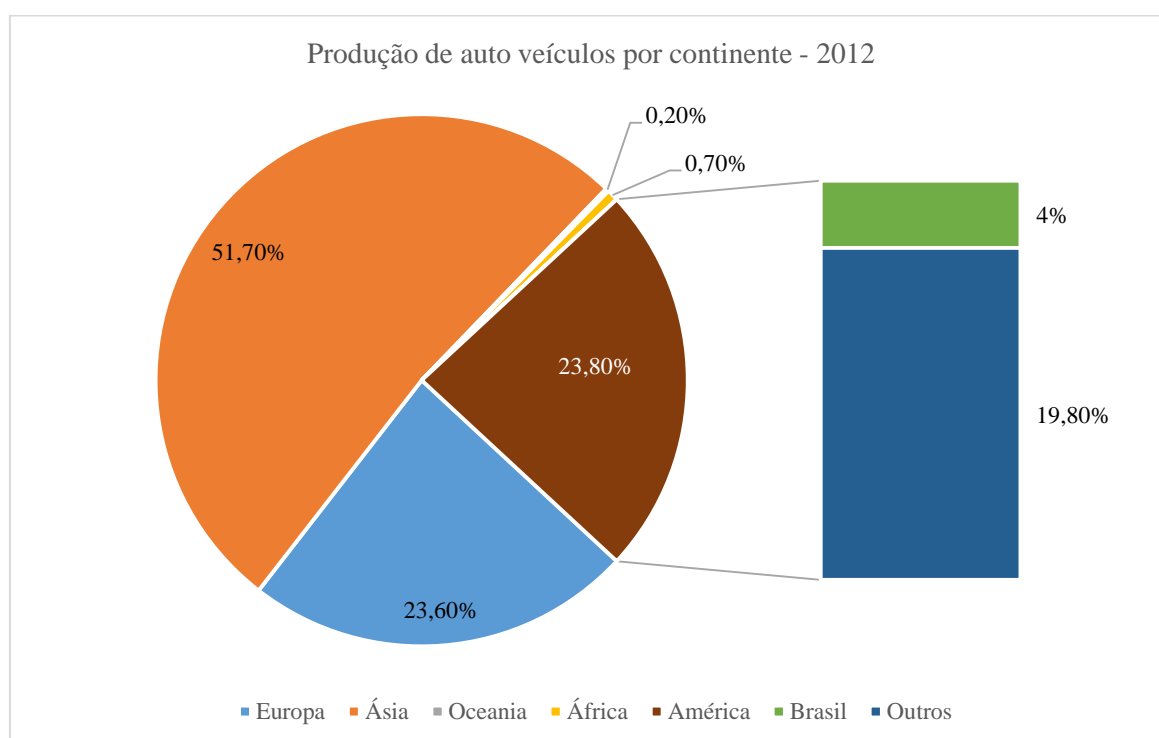


Figura 32. Produção de auto veículos por continente em 2012  
Fonte dos dados: ANFAVEA, 2014



Neste contexto, é possível concluir que o aumento do poder aquisitivo da população e a necessidade de percorrer longas distâncias em pouco tempo geram oportunidades no mercado automobilístico. Este setor se encontra em constante crescimento e desenvolvimento, o que aumenta a concorrência e a busca por novas tecnologias que possibilitem o diferencial perante os olhos dos consumidores. Por outro lado, o aumento do consumo de veículos a combustão causa um aumento nas taxas de poluição e, por isso, os veículos elétricos se destacam como solução para atender a demanda de automóveis, bem como solução para a minimização da poluição provinda do setor de transporte.

## 5.4 CONCORRENTES

No Brasil, ainda existem poucas fabricas que realmente desenvolvem projetos de veículos, visto que a maioria é responsável apenas pela montagem e comercialização, fato que limita o crescimento tecnológico do país e o desenvolvimento de conhecimentos específicos no setor automotivo. A seguir é apresentada uma relação das principais empresas associadas à ANFAVEA (2014) que fabricam auto veículos no Brasil (Figura 33).









































Empresas <i>Companies</i>	PRODUTOS / <i>Products</i>			
	Automóveis <i>Cars</i>	Comerciais leves <i>Light commercials</i>	Caminhões <i>Trucks</i>	Ônibus <i>Buses</i>
Agrale				
CAOA				
DAF				
Fiat				
Ford				
General Motors				
Honda				
Hyundai				
International				
Iveco				
Mahindra				
MAN				
Mercedes-Benz				
Mitsubishi				
Nissan				
Peugeot Citroën				
Renault				
Scania				
Toyota				
Volkswagen				
Volvo				

Figura 33. Empresas associadas à Anfavea que fabricam auto veículos no Brasil (ANFAVEA, op. cit.)

Vale ressaltar que a listagem disponibilizada pela ANFAVEA (*op. cit.*) não engloba todos os fabricantes de veículo presentes no Brasil, não incluindo, por exemplo, as empresas Troller, Marcopó e JAC. Entretanto, esta listagem permite ter uma noção ampla de que o mercado de veículos no Brasil está crescendo, visto que o número de fabricantes no país pode ser considerado relativamente alto.

Assim, a fim de se analisar os potenciais concorrentes do veículo elétrico a ser desenvolvido, foi realizada uma pesquisa sobre os veículos existentes de acordo com a tabela de consumo/eficiência energética de veículos automotores leves disponibilizada pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO (2014). Os dados analisados, conforme mostrado a seguir, são referentes às categorias sub compacto, compacto, comercial e de carga derivado do ano de 2014.

Foram pesquisados os veículos da categoria compacto, sub compacto, comercial e carga derivado, considerando-se que estas categorias seriam as que concorreriam diretamente com o veículo elétrico objeto deste projeto.

Com relação à emissão direta de poluentes, fica evidente que os veículos elétricos são a melhor opção para o meio ambiente visto que não emitem gases poluentes durante seu funcionamento, conforme pode ser visto na Figura 34.

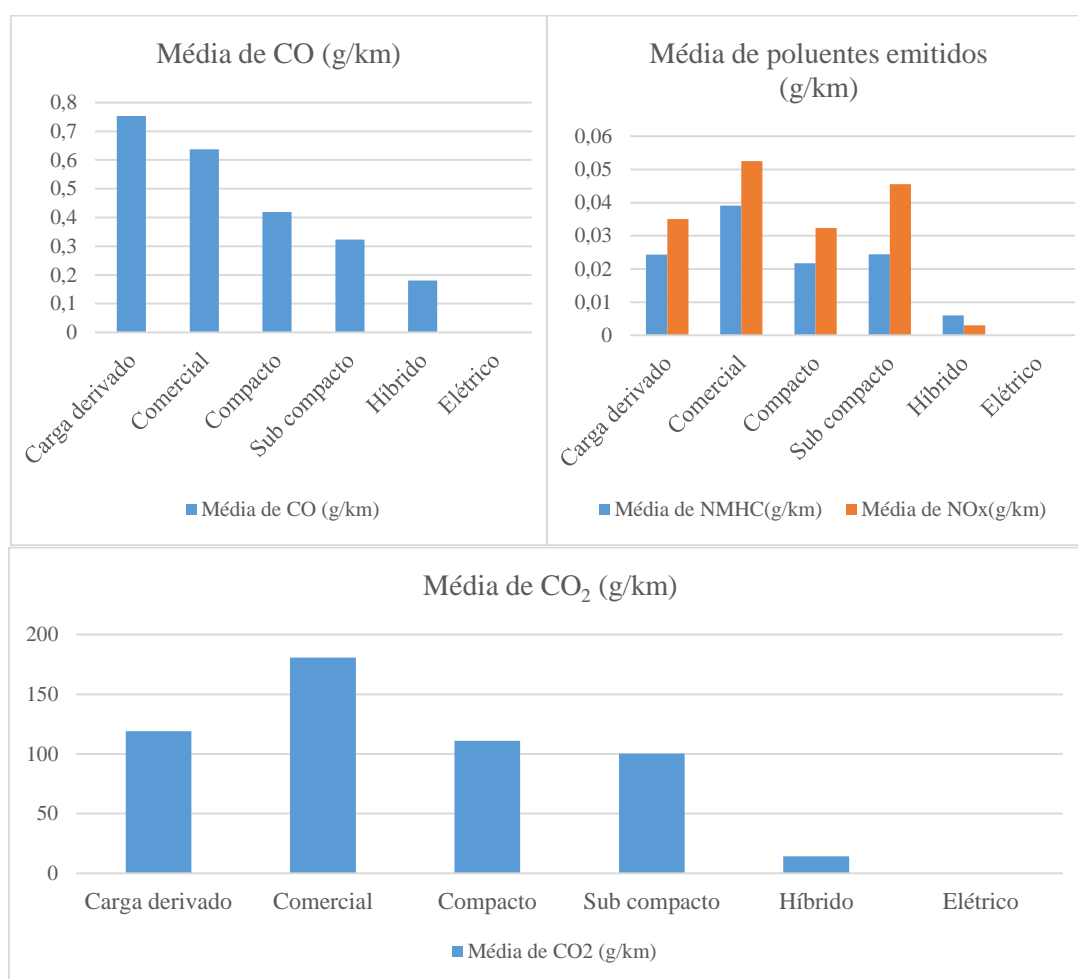


Figura 34. Painel de poluentes por tipo de veículo  
Fonte: Elaborado pela autora

Por sua vez, a análise de custo por quilômetro rodado envolve verificar o rendimento médio dos veículos e o custo de sua fonte de alimentação. Para efetuar esta análise, é importante observar que, como as fontes de alimentação dos veículos são diferentes, deverão ser feitas inicialmente duas análises separadas para se chegar ao custo por quilômetro rodado de cada tipo de veículo, para então comparar esses valores.

Assim, inicialmente considerou-se os veículos a gasolina e, a partir dos dados do INMETRO, calculou-se a média de quilômetros rodados por litro de gasolina de cada categoria de auto veículo, chegando ao resultado mostrado na Figura 35.

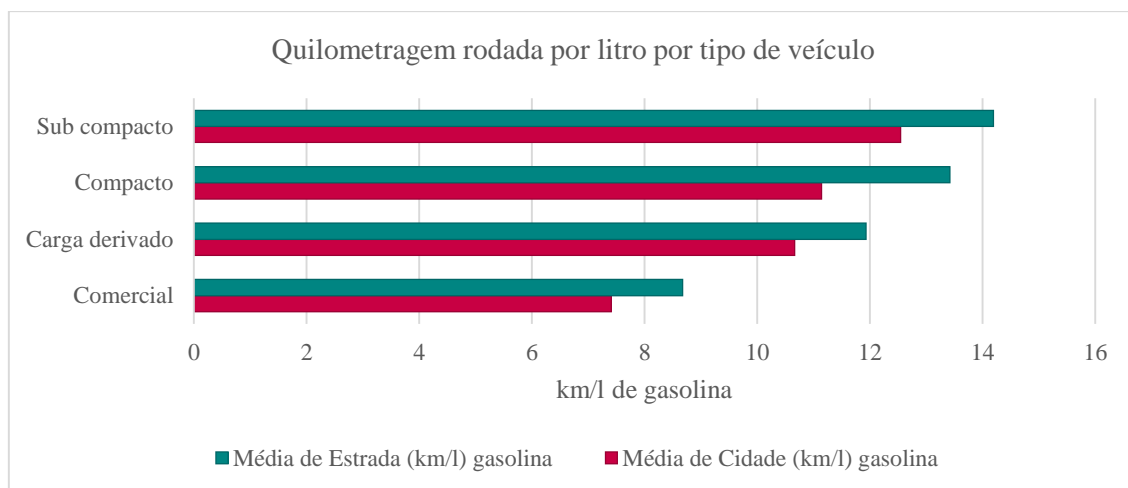


Figura 35. Quilometragem rodada por litro por tipo de veículo

Fonte: Elaborado pela autora

Para análise da taxa de consumo dos veículos elétricos, pesquisou-se em diversos fabricantes a quantidade de energia gasta em kwh para percorrer determinada distância. A partir destes dados, calculou-se a média de consumo dos veículos elétricos existentes no mercado, obtendo-se o valor de 0,170833 kwh/km, conforme mostrado na Figura 36.

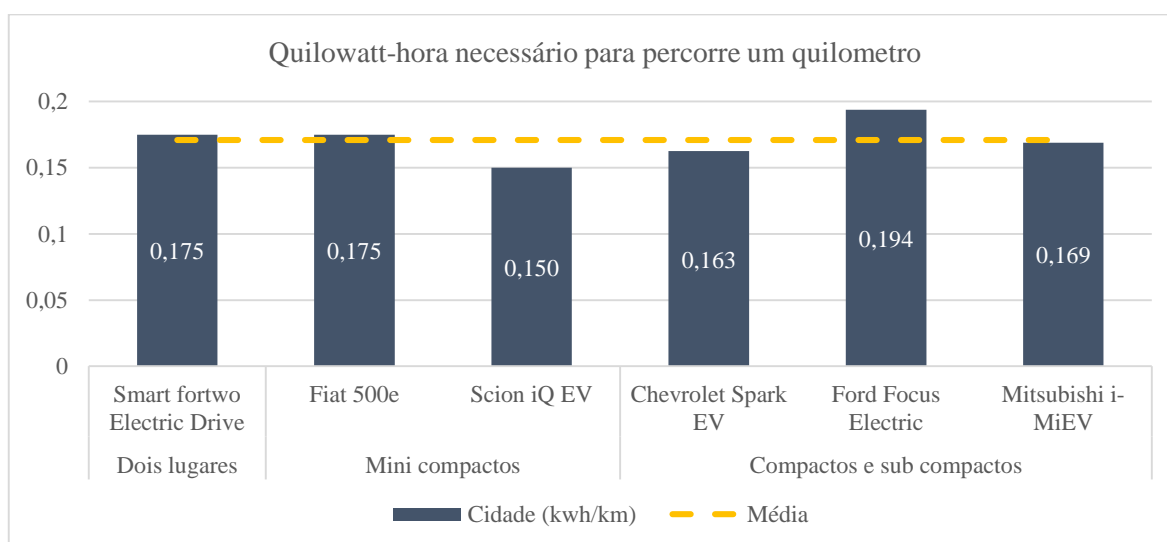


Figura 36. Quilowatt-hora necessário para percorrer um quilômetro

Fonte de dados: U.S. Department of energy: energy efficiency & Renewable Energy.

Uma vez conhecido o consumo médio de cada tipo de veículo, é preciso conhecer o custo que tal rendimento implica para o consumidor. Assim, para fins de cálculos, foi previsto o preço da gasolina comum a partir da análise de dados disponibilizados pela ANP até o ano de 2020. Por outro lado, foi levantado os valores tarifários de energia elétrica no Brasil para o período de 2003 a 2013 e, em seguida, foi realizada uma aproximação potencial para se prever os custos dos anos seguintes. Estes cálculos podem ser conferidos no Anexo II.

Neste sentido, a partir dos dados e análises supracitadas, é possível calcular a evolução do custo de quilômetro rodado de acordo com a fonte de alimentação e concluir que o custo do veículo elétrico é significativamente menor que os auto veículos das demais categorias, conforme mostrado na Figura 37. Outra análise importante é a taxa de crescimento do custo do quilômetro rodado. Visto que a gasolina é derivada de recursos não renováveis, o aumento do consumo torna sua matéria-prima cada vez mais escassa, sofrendo assim alta taxa de aumento. Por outro lado, a energia elétrica pode ser provida de fontes renováveis e, por isso, o aumento de seu consumo não decorre em grandes impactos em seu custo. Entretanto, vale ressaltar que a estimativa pode não refletir a realidade visto que o governo pode, por exemplo, influenciar no preço da gasolina para que seu crescimento não seja tão acentuado.

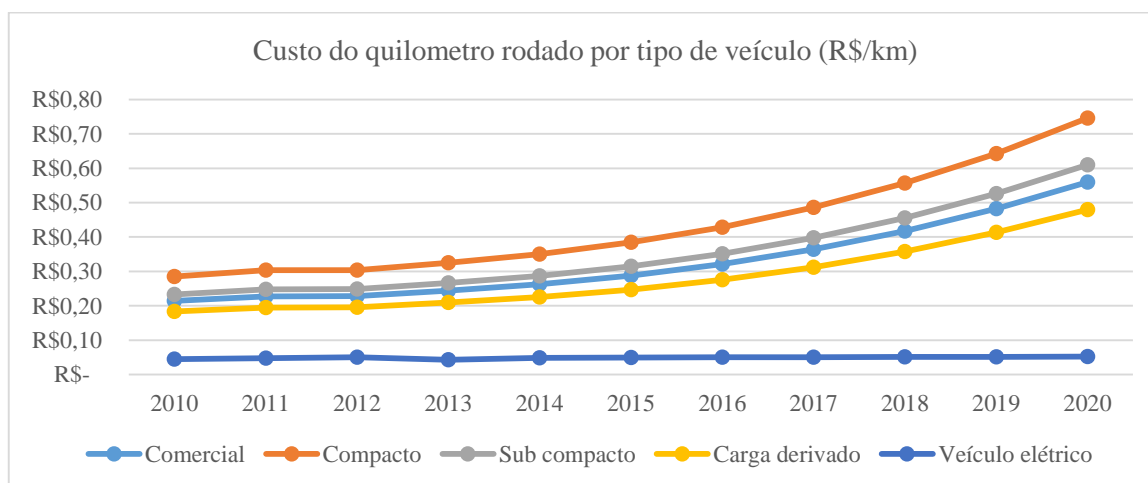


Figura 37. Custo do quilômetro rodado por tipo de veículo  
Fonte: Elaborado pela autora

Apesar do baixo número de veículos elétricos no Brasil, em breve será possível encontrar no mercado os modelos Nissan Leaf, Renault Zoe e Mitsubishi iMiev (Figura 38). Atualmente, os veículos elétricos utilizados no Brasil estão destinados a prestação de serviços.



Figura 38. Da esquerda para a direita: Nissan Leaf, Renault Zoe e Mitsubishi iMiev  
Fonte: <www.carinpicture.com>

Alguns modelos estão sendo utilizados no mercado corporativo para atividades de entregas, locomoção internas em empresas, transporte de cargas e até mesmo em serviço de taxis, conforme mostrado na Figura 39.



Figura 39. Aplicações de veículos elétricos para prestação de serviços  
Fonte: <[www.pt.wikipedia.org](http://www.pt.wikipedia.org)>

Outra categoria que se pode encontrar no mercado brasileiro é o veículo elétrico inspirado em carro de golfe. Este tipo de veículo também pode ser utilizado para transporte de carga, patrulhamento de bombeiros e policiamento (Figura 40).



Figura 40. Aplicações de carro tipo golfe  
Fonte: <[www.vo2.eco.br](http://www.vo2.eco.br)>

## 5.5 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

O rápido avanço do conhecimento e o processo de globalização têm aumentado ainda mais o dinamismo intrínseco da tecnologia, influenciando de forma significativa a demanda do mercado e da sociedade em geral. Com efeito, a prospecção tecnológica se torna ferramenta fundamental para o sucesso da organização, visto que o mercado competitivo apresenta crescentes demandas por novos produtos, com consumidores cada vez mais exigentes (Teixeira, 2014). Neste sentido, o desenvolvimento de um produto requer o mapeamento dos desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros que seriam capazes de influenciar de forma significativa o contexto do produto em questão.

Apesar dos veículos elétricos não serem uma novidade perante o mercado mundial, ainda é possível observar diversas limitações e oportunidades de pesquisa no seu contexto. As inovações em veículos elétricos são fundamentadas em três principais aspectos: velocidade, autonomia e bateria.

O protótipo EVA, criado por engenheiros da Universidade Técnica de Munique, na Alemanha, é um protótipo de táxi elétrico para grandes centros urbanos cujo objetivo é desafiar o conceito de que veículos

elétricos não tem a autonomia que atenda às necessidades urbanas. Este protótipo é composto com um conjunto de baterias que, além de recarregarem em apenas 15 minutos, prometem oferecer um autonomia de aproximadamente 200 quilômetros (Figura 41). Em Cingapura já foram realizados testes nos quais foi possível registrar percursos de até 500 quilômetros em um dia, realizados com apenas três recargas das baterias.



Figura 41. Banco de baterias especial utilizado no modelo EVA  
Fonte: <[www.cntdespoluir.org.br](http://www.cntdespoluir.org.br)>

Uma característica importante do EVA é que, visando atender as necessidades de regiões tropicais, o veículo possui um sistema de ar-condicionado individual e revestimento térmico (Figura 42). Assim, a ideia deste conceito é superar os problemas de autonomia e tempo de recarga das baterias desenvolvido um veículo elétrico nascido para ser táxi, visto que os veículos elétricos desenvolvidos até o presente momento não condizem com a realidade e necessidades das frotas de táxis.



Figura 42. Táxi elétrico EVA desenvolvido para regiões tropicais  
Fonte: <[www.cntdespoluir.org.br](http://www.cntdespoluir.org.br)>

A “ansiedade da autonomia” é um dos grandes limitadores da popularidade dos veículos elétricos e, por isso, diversos pesquisadores apostam no desenvolvimento de novas tecnologias de baterias que supram esta necessidade. Atualmente, as melhores e mais famosas baterias são do tipo íons de lítio, que possuem diversas aplicações, mas que quando utilizadas em veículos elétricos, não consegue superar os 200 km de autonomia. Um novo tipo de bateria desenvolvido recentemente são as baterias de ar-lítio



capazes de armazenar 10 vezes ou mais energia do que as melhores baterias de íons de lítio, prometendo assim, autonomia de 800 quilômetros. Entretanto, as baterias de ar-lítio ainda não são viáveis de utilização em veículos elétricos, uma vez que sua instabilidade química suporta poucos ciclos de carga e descarga. Até o momento, os melhores resultados foram registrados pela equipe do professor Nobuyuki Imanishi, da Universidade Mie, no Japão. Segundo Imanishi, seu sistema apresenta densidade prática de energia de mais de 300 Wh/kg, o dobro das baterias de íons de lítio comerciais, que apresentam densidade de energia igual a 150 Wh/kg. A missão de Imanishi agora é aumentar a vida útil da bateria, que sobreviveu a 100 ciclos de recarga e descarga.

Outra área que está explorando a tecnologia dos veículo elétricos é a de corrida de carros. O principal foco de desenvolvimento neste ramo é, como se espera, a velocidade. O veículo Lola B12 69/EV da Drayson Racing Technologies, Figura 43, bateu o recorde de velocidade de veículos elétricos, atingindo uma velocidade de 328,6 km/h. Para atingir este recorde, o veículo precisava pesar, sem o motorista, menos de 1.000 kg e, para isso, o chassi do veículo foi produzido inteiramente de fibra de carbono reciclado. Ademais, seu conjunto de baterias é capaz de fornecer 20 quilowatts-hora, gerando 850 cavalos de potência. Contudo, a Drayson Racing não é a única fabricante que está apostando em carros de corrida elétricos. A McLaren, da Inglaterra e a Spark, da Cingapura, também estão construindo carros elétricos parecidos com um Fórmula 1 para participar de competições de corrida Fórmula E.



Figura 43. Carro de corrida elétrico Lola B12 69/EV  
Fonte: <[www.inovacaotecnologica.com.br](http://www.inovacaotecnologica.com.br)>

A FIA (Federação Internacional de Automobilismo), órgão que controla o automobilismo mundial, afirma que a intenção da Fórmula E é, não somente garantir o entretenimento do público, como também promover a tecnologia dos veículos elétricos. Além dos carros propriamente ditos, a Fórmula E prevê o carregamento das baterias continuamente por sistema sem fio, chamado Halo. Esta tecnologia desenvolvida pelo laboratório da empresa Qualcomm, em Londres, cria um campo eletromagnético por meio de uma plataforma de cobre enterrada no chão. Uma bobina instalada no veículo capta este campo e o converte em eletricidade para carregar as baterias, permitindo assim o carregamento dinâmico, no qual os carros se reabastecem em movimento.

Outra tecnologia de reabastecimento de veículos elétricos já é utilizada por ônibus elétricos na Coreia do Sul, pelo Instituto de Ciência e Tecnologias Avançadas da Coreia do Sul, KAIST. O sistema batizado de OLEV (*On-line Electric Vehicle*), que também está sendo testado em trens elétricos, se baseia no carregamento das baterias por meio de um campo magnético criado por cabos instalados sob o asfalto, Figura 44. Cada cabo receberá cerca de 100 kW a uma frequência de 20 kHz, resultando em uma eficiência de transmissão de energia de aproximadamente 85%. Assim, para manter os ônibus carregados seria preciso instalar o sistema OLEV entre 5% e 15% do percurso, dependendo do número de paradas e das inclinações da via.



Figura 44. Ônibus elétrico que utiliza sistema OLEVs  
Fonte: <[www.inovacaotecnologica.com.br](http://www.inovacaotecnologica.com.br)>

Por sua vez, a BMW lançou a garagem solar para veículos elétricos, sistema que garante o abastecimento de veículos elétricos com energia renovável. O conceito, denominado carroporto, Figura 45, utiliza como material de sustentação o bambu, que devido ao seu rápido crescimento é considerado matéria-prima particularmente sustentável. Os módulos solares são dispostos sobre vidro de alto rendimento energético e resistência, permitindo, dependendo das condições climáticas, oferecer a autossuficiência energética. O sistema de controle indica a quantidade de energia solar utilizada para recarregar o carro e possibilita redirecionar a energia excedente para o uso doméstico.



Figura 45. Garagem solar para veículo elétricos proposta pela BMW  
Fonte: <[www.sustentabilidadedigital.eco.br](http://www.sustentabilidadedigital.eco.br)>



No Brasil, as inovações de veículo elétrico também estão vinculadas a iniciativas particulares, como é o caso do primeiro minicarro elétrico brasileiro, JAD (Figura 46). A curiosidade do gaúcho João Alfredo Dresch e o investimento de R\$ 40 mil resultou na produção de um veículo elétrico que alcança até 70 km/h. Com um motor de 5cv de potência, um conjunto de 14 baterias e capacidade para duas pessoas, o veículo de 2 metros de largura gasta apenas R\$ 0,10 por quilometro rodado.



Figura 46. Minicarro elétrico brasileiro JAD  
Fonte: <[www.carroslancamentos.com.br](http://www.carroslancamentos.com.br)>

Além das inovações técnicas, os veículos elétricos também são caracterizados pelo desenvolvimento de novos conceitos de design, a exemplo, o carro elétrico dobrável. O Armadillo-T, minicarro elétrico dobrável proposto por engenheiros da Instituto KAIST, surge da necessidade de minimizar o espaço ocupado pelos carros estacionados.



Figura 47. Modelo Armadillo-T dobrado  
Fonte: <[www.carplace.virgula.uol.com.br](http://www.carplace.virgula.uol.com.br)>

A partir da inspiração do tatu-bola, que se enrola para se proteger de predadores, o Armadillo-T que tem 2,8 metros de comprimento é capaz de reduzir para 1,65 metros (Figura 47). Assim, para estacioná-lo, um controle remoto acionado por celular permite manobrar o veículo à distância, podendo até fazê-lo girar 360°. O Armadillo-T possui quatro motores, um dentro de cada roda, acionados por um conjunto de baterias de íons de lítio de 13,6 kWh e capacidade para duas pessoas, Figura 48. Sua velocidade máxima é de 60 km/h e o banco de baterias lhe proporciona uma autonomia de 100 km.



Figura 48. Veículo elétrico Armadillo-T  
Fonte: <[www.carplace.virgula.uol.com.br](http://www.carplace.virgula.uol.com.br)>

Outro design que visa minimizar o espaço ocupado pelo veículo é o Egassus, Figura 49. Este veículo em forma de ovo gigante e capacidade para uma pessoa promete resolver o problema de congestionamento em grandes centros urbanos, minimizando a poluição do ar. Com apenas três rodas, sua autonomia é de 80 km.



Figura 49. Carro elétrico Egassus  
Fonte: <[www.energiainteligenteufjf.com](http://www.energiainteligenteufjf.com)>

Por fim, outro modelo de veículo elétrico que promete resolver o problema de espaço e congestionamento é o C-1, Figura 50. Meio moto, meio carro, o veículo de duas rodas está mais para um carro cortado ao meio, conforme definido pela equipe de engenheiros da *Lit Motors*, responsável pelo desenvolvimento deste conceito. Apesar de ser de duas rodas, o C-1 é capaz de se equilibrar sozinho devido aos giroscópios controlados eletronicamente para criar mais de 500 quilos de força de tração. O objetivo é que o protótipo tenha autonomia de 320 quilômetros e atinja velocidades de até 193 km/h, chegando de zero a 96 km/h em apenas seis segundos. Seus custo estimado é de aproximadamente US\$ 24 mil.



Figura 50. Modelo C-1 produzido pela Lit Motors  
Fonte: <[www.inovacaotecnologica.com.br](http://www.inovacaotecnologica.com.br)>

## 5.6 LEGISLAÇÃO

Como o produto em análise é derivado de uma iniciativa universitária, buscou-se analisar os requisitos normativos de acordo com o volume de produção do veículo elétrico em questão, visto que seu baixo volume produtivo acarreta em legislações específicas para este tipo de produto, classificado como veículo artesanal. Segundo a Resolução N° 63 do Contran (1998), só é permitido o registro e licenciamento de no máximo três veículos artesanais por ano, caso em que se enquadra o projeto de produto ora relatado. Assim, o processo de homologação de um veículo artesanal inicia-se na elaboração da documentação e a obtenção do n° de Chassi junto ao Detran local. Em seguida, o veículo deverá ser submetido a diversos testes e ensaios para garantir a segurança veicular do mesmo, permitindo seu registro e licenciamento. Para a inspeção de segurança veicular, é necessário apresentar uma série de documentos, como: notas fiscais de peças e serviços, desenhos técnicos com as dimensões e especificações técnicas do veículo, e Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do engenheiro responsável pelo projeto e fabricação do veículo.

Assim, para a liberação do registro e do licenciamento, deve-se atentar para as resoluções do Contran e as Portaria do INMETRO, destacando-se as seguintes:

- Lei nº 6.729, de 28 de Novembro de 1979: Dispõe sobre a concessão comercial entre produtores e distribuidores de veículos automotores de via terrestre.
- Resolução Contran 78: Trata das normas e requisitos de segurança para a fabricação, montagem e transformação de veículos.
- Resolução Contran 63: Disciplina o registro e licenciamento de veículos de fabricação artesanal.
- RTQ - Inspeção De Segurança Veicular De Motocicletas E Assemelhados - Modificação Ou Fabricação Artesanal
- Portaria INMETRO / MDIC número 522 de 31/10/2013: Adequar os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves, aprovados pela Portaria Inmetro n.º 377/2011.
- Portaria INMETRO / MDIC número 377 de 29/09/2011: Aprovar a revisão dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves
- Portaria INMETRO / MDIC número 16 de 11/01/2013: Considerações para maior clareza quanto aos critérios e a abrangência da Portaria Inmetro n.º 301, de 21 de julho de 2011, para Componentes Automotivos.
- Contran Resolução nº 291, de 29 de agosto de 2008
- Contran Resolução nº 14/98
- Contran Resolução nº 34, de 21 de maio de 1998

Por outro lado, as patentes associadas a veículos elétricos são relacionadas a seus componentes e seus sistemas. Assim, foi realizada uma pesquisa no Banco de Patentes do Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) para que verificar as patentes existentes no contexto de veículo elétrico. A Tabela 3 apresenta as principais classificações dos registros levadas em consideração no estudo de patentes, enquanto a Tabela 4 registra as principais patentes existentes, bem como o ano de seu registro e o país de sua origem.

*Tabela 3. Classificação das principais patentes pesquisadas*

Índice de Classificação	
<b>B</b>	Operações de processamento; transporte
<b>B60</b>	<b>Veículos em geral</b>
<b>B60L</b>	Equipamento elétrico ou propulsão de veículos de propulsão elétrica; suspensão magnética ou levitação para veículos; sistemas de freios eletrodinâmicos para veículos, em geral
<b>B60P</b>	Veículos adaptados para o transporte de carga ou para transportar, suportar ou conter cargas ou objetos especiais
<b>B62</b>	<b>Veículos terrestres para tráfegar de outra maneira que não sobre trilhos</b>
<b>B62D</b>	Veículos motorizados; reboques

*Tabela 4. Lista de principais patentes identificadas*

<b>Nº do Pedido</b>	<b>Data do Depósito</b>	<b>País</b>	<b>Classificação</b>	<b>Título</b>
PI 0809629-5 A2	07/03/2008	Japão	B60L 3/04 B60K 6/445 B60L 9/18 B60L 11/14 B60W 10/08 B60W 20/00 H02P 5/74	Veículo Elétrico
BR 10 2012 012591 9	25/05/2012	Estados Unidos	B60R 25/045 B60L 3/04 H02J 7/02	Dispositivo De Segurança E Veículo Elétrico
PI 9804724-8 A2	20/11/1998	Estados Unidos	B60K 6/04	Veículo Elétrico Com Frenagem Regenerativa De Eficiência Variável Dependendo Do Estado De Carga Da Bateria
PI 9302715-0 A2	30/06/1993	Suíça	B60L 11/10	Sistema De Motores Para Veículo Elétrico
MU 8802869-0 U8	01/12/2008	-	B60R 11/00	Configuração Em Conjunto De Chassi E Caixa De Bateria Para Veículo Elétrico
MU 9102242-8 U8	30/11/2011	-	B62K 11/00 B62D 61/06	Veículo Elétrico Com 3 Rodas De Condução Em Pé

Visto que as patentes associadas a veículos elétricos são relacionadas a seus componentes e seus sistemas específicos e, uma vez que o projeto pretende utilizar componentes comerciais e desenvolver seus próprios sistemas mecânicos, as patentes levantadas não significam grandes empecilhos ou limitantes para o desenvolvimento do veículo elétrico.



## 6 ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

*Neste capítulo, são apresentados os requisitos normativos e necessidades dos clientes que deram base para a identificação das métricas de qualidade e sua valoração, estabelecendo as metas do produto que conduziram seu processo de desenvolvimento.*

### 6.1 REQUISITOS E NECESSIDADES DOS CLIENTES

Os projetos decorrentes de iniciativas universitárias são caracterizados, em sua maioria, por apresentar diversos limitantes, e a identificação destes limites é insumo fundamental para definir as especificações do produto. Assim sendo, a identificação das restrições do projeto foi fundamentada em basicamente três fatores: recursos financeiros, infraestrutura disponível e tecnológica acessível. Por outro lado, por se tratar de um veículo elétrico, o desenvolvimento de tal produto requer especial atenção aos requisitos normativos, de forma a viabilizar seu tráfego em vias públicas.

Além dos requisitos normativos e restrições do projeto, as necessidades dos clientes também são um importante insumo para o levantamento das métricas de qualidade do produto. Neste aspecto, por se tratar de um veículo elétrico destinado a apoiar a coleta seletiva no campus universitário, foram levantadas necessidades referentes ao cotidiano dos usuários finais, bem como, necessidades mínimas identificadas pelos professores envolvidos no projeto.

Como resultado, a Tabela 5 mostra os requisitos, restrições e necessidades dos clientes identificadas. Estes fatores dão base para a determinação das características técnicas do veículo elétrico.

*Tabela 5. Restrições do projeto, necessidades dos clientes e requisitos normativas*

Restrição	Minimizar os custos dos sistemas mecânicos
	Ser fabricado por processos convencionais
	Utilizar painel solar
	Utilizar componentes comercializados no Brasil
	Promover inovações
	Baixa exigência técnica de fabricação e montagem
	Fácil fabricação e montagem
	Baixo custo de fabricação e montagem
Necessidades dos clientes	Carregar 5.000 kg de resíduo por semana
	Capacidade para mais de uma pessoa
	Minimizar riscos de falhas por má utilização
	Elevada resistência e durabilidade
	Fácil operação
	Facilidade de recarga das baterias
	Baixo custo de manutenção
	Dispositivos de segurança para acesso aos componentes
Requisitos normativos	Proporcionar segurança durante o uso
	Atender aos limites de velocidade das vias urbanas
	Atender ao código de trânsito brasileiro

## 6.2 MÉTRICAS DA QUALIDADE DO PRODUTO

Após a identificação dos requisitos normativos, das restrições do projeto e das necessidades dos clientes, tais aspectos são traduzidos em características técnicas do produto (Tabela 6), denominadas métricas de qualidade do produto (Barbalho, 2006).

Tabela 6. Métricas da qualidade do produto

Métricas da qualidade do produto (desdobradas)	Custo de produção	Capacidade de carga	Conforto	Capacidade de pessoas	Velocidade	Autonomia	Interfaces de comunicação com o usuário	Vida útil do veículo	Componentes disponíveis no mercado local	Componentes móveis protegidos	Componentes eletrônicos protegidos	Componentes fabricados por processos	Material de alta resistência	Cantos vivos e arestas cortantes	Custo por km rodado	Matéria prima disponível no mercado local	Nível de ruído	Ocorrência de falhas durante operação	Peças intercambiáveis	Cumprir checklist de normas
Minimizar os custos dos sistemas mecânicos	x	x						x	x	x		x	x		x	x			x	
Ser fabricado por processos convencionais	x								x	x		x	x						x	
Utilizar painel solar	x					x	x	x	x		x				x			x		
Utilizar componentes comercializados no Brasil	x		x						x			x	x	x			x	x	x	
Promover inovações	x	x	x		x	x	x								x		x			
Baixa exigência técnica de fabricação e montagem	x		x						x	x		x		x						
Fácil fabricação e montagem	x								x			x		x					x	
Baixo custo de fabricação e montagem	x								x		x	x	x	x		x		x	x	
Carregar 5.000 g por semana		x	x	x	x	x		x					x		x		x	x		
Capacidade para mais de uma pessoa		x	x	x	x										x					
Minimizar riscos de falhas por má utilização	x		x		x	x	x	x			x		x	x			x	x		

Métricas da qualidade do produto (desdobradas)	Custo de produção	Capacidade de carga	Conforto	Capacidade de pessoas	Velocidade	Autonomia	Interfaces de comunicação com o usuário	Vida útil do veículo	Componentes disponíveis no mercado local	Componentes móveis protegidos	Componentes eletrônicos protegidos	Componentes fabricados por processos	Material de alta resistência	Cantos vivos e arestas cortantes	Custo por km rodado	Matéria prima disponível no mercado local	Nível de ruído	Ocorrência de falhas durante operação	Peças intercambiáveis	Cumprir checklist de normas
Elevada resistência e durabilidade	x												x	x				x	x	
Fácil operação							x	x			x			x				x		
Facilidade de recarga as baterias			x				x				x							x		
Baixo custo de manutenção								x	x			x	x	x		x			x	
Dispositivos de segurança para acesso aos componentes			x				x	x			x			x				x		
Proporcionar segurança durante o uso					x		x			x	x			x				x		
Atender aos limites de velocidade das vias urbanas					x															x
Atender ao código de trânsito brasileiro									x											x

Uma vez conhecidas as métricas de qualidade do produto, são identificadas as especificações apresentadas pelos modelos existentes no mercado. Para tal, foi considerada a análise realizada no capítulo anterior, na qual são apresentados tanto os veículos elétricos já presentes no mercado competitivo, como também suas prospecções tecnológicas. Como o veículo objeto de estudo deste projeto visa apoiar a coleta seletiva realizando o transporte do material desde seu ponto descarte até o centro de coleta das cooperativas, foi dada uma maior ênfase nos veículos elétricos cuja finalidade principal é o transporte de carga.

### 6.3 ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

Tendo identificado os parâmetros de concorrentes em relação à estas características técnicas definidas, parte-se então para a determinação das especificações do produto em desenvolvimento.



Assim, a Tabela 7 mostra o resultado da determinação dos valores meta de cada característica técnica identificada como fundamental para atender aos requisitos e necessidades dos envolvidos.

*Tabela 7. Especificações meta do produto*

<b>Métricas da qualidade do produto</b>	<b>Valores-meta</b>
Custo de produção	R\$ 50.000
Capacidade de carga	200kg no veículo + 1000kg no reboque
Conforto	Acomodação mínima de 90% da população
Capacidade de pessoas	2 pessoas
Velocidade	Até 75 km
Autonomia	100 km
Interfaces de comunicação com o usuário	No mínimo 1 interface visual
Vida útil do veículo	10 anos
Componentes disponíveis no mercado local	70%
Componentes móveis protegidos	100%
Componentes eletrônicos protegidos	90%
Componentes fabricados por processos convencionais	80%
Material de alta resistência	65%
Cantos vivos e arestas cortantes	0
Custo por km rodado	Até 0,06 R\$/km
Matéria prima disponível no mercado local	80%
Nível de ruído	Até 40 dB
Ocorrência de falhas durante operação	Até 1 falha (manutenção corretiva) a cada 6 meses
Peças intercambiáveis	65%
Cumprir checklist de normas regulamentadoras	100%

Uma vez definidas as métricas de qualidade do produto, é importante identificar as características NUD (novas, únicas e difíceis) para auxiliar o planejamento dos parâmetros críticos do projeto (Barbalho, 2006). Neste sentido, a partir das métricas definidas para o veículo elétrico, identifica-se como característica NUD o custo de produção, a autonomia, a disponibilidade dos componentes no mercado local e a intercambiabilidade de peças, devido a não popularidade dos veículos elétricos no Brasil.

## 6.4 CONCEITO DO PRODUTO

Assim sendo, foi determinada a utilização de um motor brushless 10 hp e baterias de li-ion de 200 Ah, visando atender as especificações meta estabelecidas. Baseando-se nesta seleção, foram identificadas duas alternativas preliminares de produto. A primeira alternativa de conceito é o estilo pick-up, com quatro rodas e caçamba inclinada, facilitando a remoção da carga. Sua suspensão é independente na dianteira com eixo rígido atrás, com freio a disco dianteiro e traseiro. Ademais a tração é traseira podendo aparecer em duas configurações, motor central e redução por diferencial ou um motor

em cada roda e redução por engrenagens com controle eletrônico de rotação em curva. Uma vantagem deste conceito é a simplicidade estrutural e a similaridade com os veículos comumente utilizados tornando dispensável a mão de obra especializada para operar o veículo. Esta alternativa foi baseada nos veículos elétricos utilizados para coleta de resíduos e pode ser melhor visualizada na Figura 51.



Figura 51. Conceito do veículo estilo pick-up para transporte de carga  
Fonte: <[www.veiculoseltricos.com.br](http://www.veiculoseltricos.com.br)>

Por outro lado, o segundo conceito é o estilo rebocador, composto por um veículo trator com duas rodas dianteira e uma traseira que puxa o reboque com a carga desejada. Este conceito se baseia em veículos utilizados por indústrias para movimentação de material, como o apresentado na Figura 52. Entretanto, é importante observar que o conceito aqui proposto inverte a disposição das rodas no veículo, passando de um veículo de duas rodas traseira e uma dianteira, como ilustrado na figura, para um veículo de duas rodas dianteiras e uma traseira.



Figura 52. Conceito do veículo estilo rebocador para transporte de carga  
Fonte: <[www.veiculoseltricos.com.br](http://www.veiculoseltricos.com.br)>

O veículo elétrico estilo rebocador apresenta tração traseira com redução por correntes, suspensão independente na dianteira e mono-choque na traseira e freio a disco em todas as rodas. Ademais, este conceito é caracterizado pela redução de custos com a transmissão e redução do raio de curvatura, proporcionando maior estabilidade em curvas. Por se tratar de um rebocador, o veículo é versátil, podendo ser utilizado sem a unidade rebocadora, ou até mesmo, utilizar unidades rebocadoras destinadas para fins diferentes, como por exemplo, para o transporte coletivo de pessoas. Visto que são duas unidades diferentes, esta alternativa proporciona o desenvolvimento de um veículo mais leve e com maior capacidade de carga.

Deste modo, a redução de custos e a maior capacidade de carga foram aspectos fundamentais para escolha do conceito rebocador, uma vez que, devido a suas características, este conceito apresenta maior facilidade para atingir as especificações meta estabelecidas. Outro ponto importante levado em consideração é a versatilidade do veículo, podendo ser utilizado para transporte de pessoas, patrulhamento ou até mesmo para fins comerciais.

## 7 PLANEJAMENTO DO PROJETO

*Nesta secção será apresentado o Plano de Projeto desenvolvido para gerenciar as atividade e fases de desenvolvimento do veículo elétrico, envolvendo desde a definição do escopo, até o gerenciamento dos riscos que envolvem o projeto.*

### 7.1 DECLARAÇÃO DO ESCOPO

Por este projeto se tratar de um produto amplamente conhecido, entretanto com características novas, o ciclo de vida do veículo elétrico objeto deste projeto foi desenvolvido com base no ciclo de um veículo convencional. Assim, o ciclo de vida do veículo elétrico é definido conforme mostrado a seguir (Figura 53).

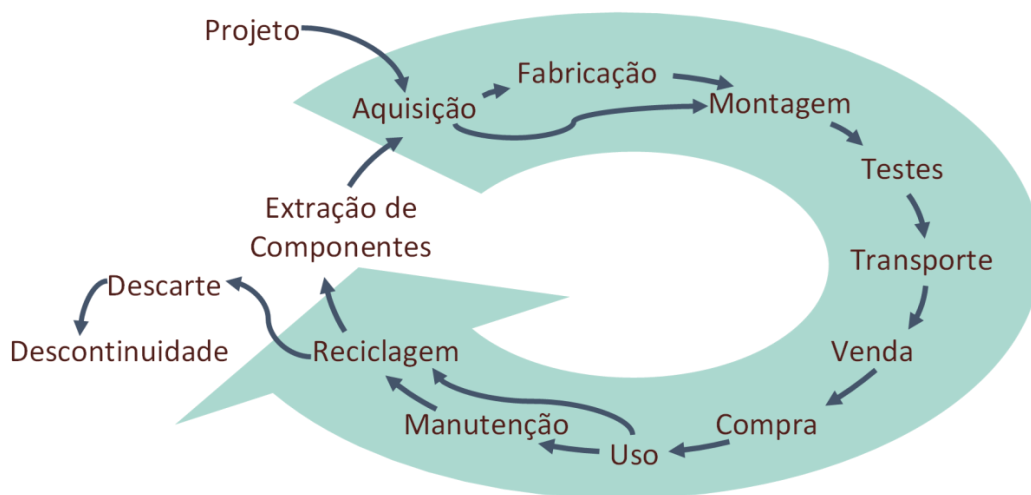


Figura 53. Ciclo de vida do veículo elétrico  
Fonte: Elaborado pela autora

A partir da identificação do ciclo de vida do produto, é efetuada a identificação dos clientes do projeto, visando atingir todos as etapas do ciclo. Para melhor compreensão, dividiu-se os clientes em três categorias:

- Clientes internos: consistem em todos envolvidos diretamente com o desenvolvimento do produto, englobando as áreas funcionais de projeto, fabricação, montagem, testes e manutenção.
- Clientes intermediários: todos os envolvidos com a distribuição e comercialização do produto, bem como sua devida reciclagem e descarte.
- Clientes externos: são os consumidores finais ou usuários do produto.

Entretanto, como o produto é desenvolvido no âmbito universitário e, a priori, somente será produzido um protótipo, o escopo deste projeto foi definido a partir das fases de projeto, aquisição, fabricação, montagem e testes, conforme detalhado a seguir.

### 7.1.1 Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

As entregas e pacotes de trabalho necessários à consecução dos objetivos propostos são definidos e estruturados pela Estrutura Analítica Do Projeto (EAP), delimitando assim o escopo do projeto. A Figura 54 apresenta a EAP definida para o projeto em questão, na qual o primeiro nível da estrutura representa as áreas de conhecimento do projeto e os demais níveis abaixo consistem nas entregas do projeto.

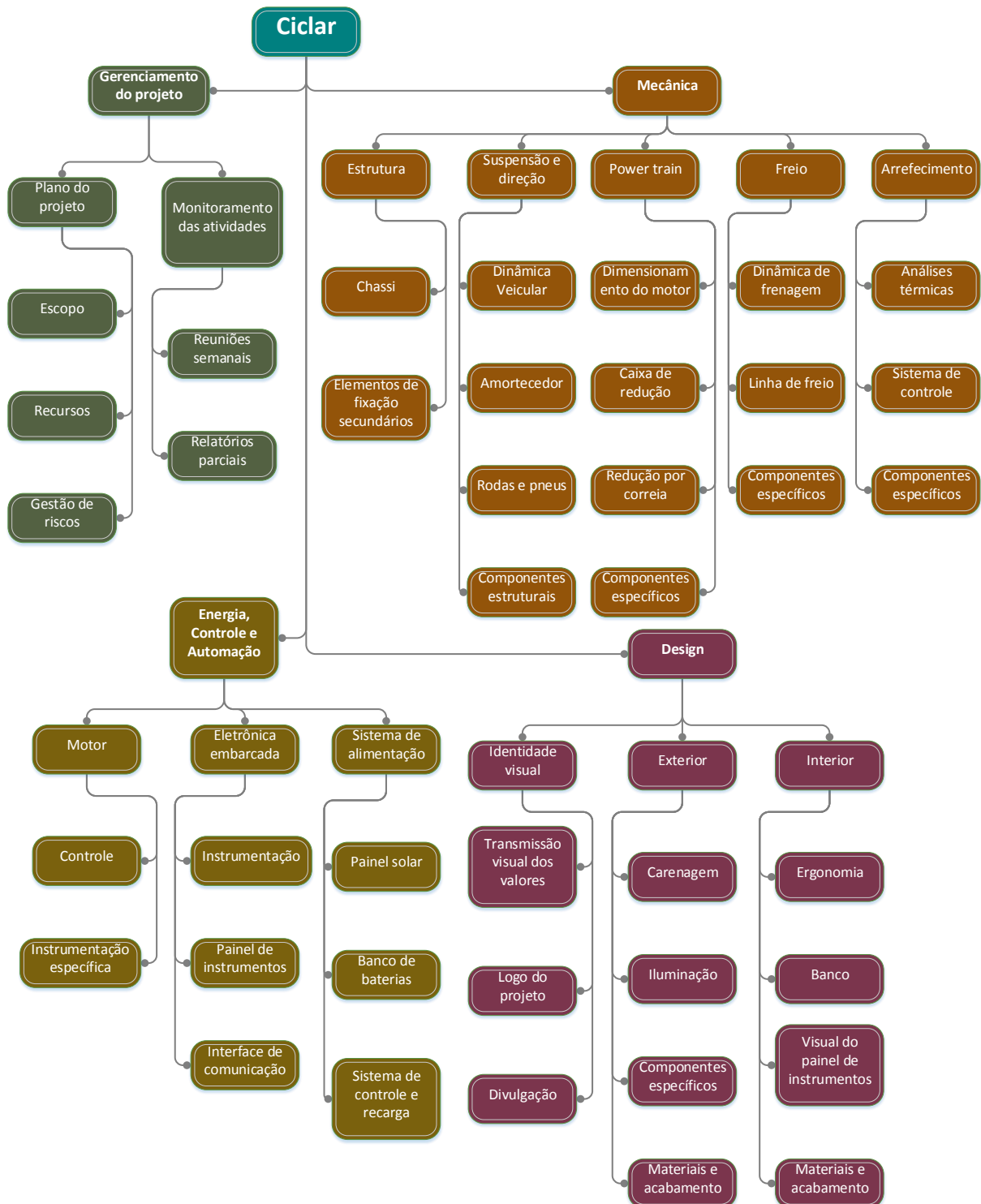


Figura 54. EAP do projeto  
Fonte: Elaborado pela autora

## 7.2 RECURSOS NECESSÁRIOS

Como o projeto em questão consiste em um projeto acadêmico desenvolvido em ambiente universitário, é de fundamental importância a orientação de professores e a participação de alunos de diferentes áreas. Nada obstante, é plausível afirmar que o desenvolvimento de um veículo elétrico é um projeto complexo que demanda dedicação, esforço e principalmente integração das partes interessadas. Na prática, na equipe Ciclar, essa demanda técnica gerou um ambiente colaborativo em que o convívio resultou no desenvolvimento acadêmico e profissional dos estudantes: alunos de engenharia mecânica aprenderam conceitos de elétrica e produção e vice versa. Por ser um ambiente propício para o aprendizado, diversos conhecimentos específicos e técnicos foram adquiridos para desenvolver o protótipo. A Tabela 8 mostra a relação das atividades do projeto com o desenvolvimento de competências técnicas e transversais.

*Tabela 8. Competências desenvolvidas segundo situações de aprendizagem*

Situações de Aprendizagem Competências	Formação de graduação	Material de apoio	Divisão em sistemas	Atribuição de tarefas e responsabilidades	Planejamento de datas gerais	Autonomia pessoal	Possibilidade de inovação	Apresentações e reuniões	Busca de recursos e sua destinação	Fabricação do protótipo	Interação entre alunos de diferentes níveis de saberes	Colocar em prática conhecimentos teóricos adquiridos	Cada aluno responde pelo resultado do seu próprio trabalho
Trabalho em equipe			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Liderança			x	x	x				x		x	x	x
Automotivação	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	X
Responsabilidade		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Criatividade e inovação				x	x	x	x	x		x		x	x
Raciocínio crítico na análise e valorização de alternativas	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Capacidade de aprender autônoma	x	x		x		x	x				x	x	x
Planejamento e organização		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Gestão de conflitos			x	x	x	x	x		x	x	x		
Iniciativa				x	x	x	x	x		x		x	x
Resolução de problemas			x	x	x		x	x	x	x	x	x	
Tomada de decisão			x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Relacionamento interpessoal			x					x		x	x	x	x
Comunicação oral	x			x			x	x	x		x		x
Comunicação escrita	x	x		x			x	x	x		x		x
Assimilação e aplicação dos conhecimentos	x	x		x		x	x			x	x	x	x
Estratégia de aprendizagem	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x
Escutar os pontos de vista dos outros			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Por ideias em prática		x	x			x	x		x	x		x	
Trabalho com incerteza				x	x		x		x	x	x	x	x

Como os veículos elétricos requerem conhecimento mais específico da tecnologia envolvida, constatou-se que alguns dos conhecimentos necessários para o desenvolvimento do protótipo são:

- Sistemas mecânicos automotivos
- Sistema de potência elétrica: bateria e motor
- Programação e seus dispositivos
- Gerenciamento de projeto
- Design de produto

De tal modo, os estudantes foram selecionados de acordo com suas áreas de conhecimentos, que envolveram: engenharia de produção, engenharia mecânica, engenharia mecatrônica, engenharia elétrica, engenharia de energia, engenharia automotiva, engenharia de software, engenharia da computação, ciência da computação e desenho industrial.

Além dos recursos humanos, é necessário planejar os recursos financeiros e de infraestrutura e equipamentos. Como o projeto e fabricação do veículo são realizado no ambiente universitário, estes recursos foram planejados de acordo com a disponibilidade e limitações de cada um. O recurso financeiro foi viabilizado por meio do edital direcionado à extensão universitária PROEXT/MEC, o qual disponibilizou R\$ 50.000,00 para o desenvolvimento do protótipo. Por sua vez, a equipe de estudantes conta com o acesso ao Laboratório de Processos de Fabricação, localizado no bloco SG-09 do campus Darcy Ribeiro da UnB. Este laboratório é composto basicamente por dois setores: o de usinagem e o de soldagem e fundição. No setor de usinagem encontram-se tornos mecânicos manuais, fresadoras vertical e horizontal, plaina, furadeira de coluna e radial, e retifica plana. Já o setor de soldagem e fundição contem máquinas de solda para os processos de eletrodo revestido (SWMA), MIG/MAG e TIG, além de ferramentas de corte, dobra e desbaste por abrasão (esmeris e coli corte). Vale ressaltar que todos os equipamentos disponibilizados são mecânicos de operação manual.

### **7.3 GESTÃO DE RISCOS**

O acompanhamento dos riscos do projeto deve ser realizado diariamente para garantir a qualidade e o bom desenvolvimento do protótipo. Para tal, foram identificados os principais riscos envolvidos, classificando-os por sua dimensão, categoria e impacto negativo ou positivo sobre os objetivos propostos. Assim, cada risco foi valorado com relação a seu impacto, probabilidade e grau de exposição, permitindo a priorização dos riscos identificados. A lista completa de riscos, incluindo o índice de risco final, pode ser visualizada no Apêndice I.

De acordo com o levantamento realizado, foram identificadas 29 ameaças e 11 oportunidades, sendo que cerca de 38% do total de riscos pertence a categoria técnico e 35% a categoria organizacional (Figura 55). Estes resultados eram esperados, pois projetos universitários possuem justamente o intuito de viabilizar a aplicação prática dos conhecimento teóricos que estão sendo adquiridos pelos estudantes,

podendo este objetivo gerar resultados positivos ou negativos. Do mesmo modo, a dificuldade de se conciliar os estudos às atividades do projeto apresentam grande impacto na estruturação organizacional do projeto.

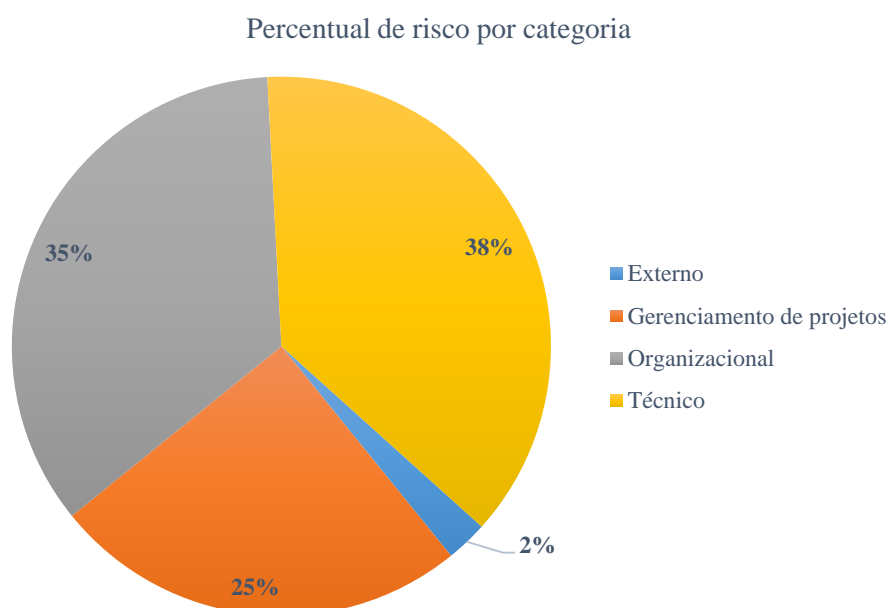


Figura 55. Percentual de risco do projeto por categoria  
Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com o índice de risco calculado, foram priorizado os riscos mostrados na Tabela 9. Para cada risco priorizado, foi adotada uma estratégia diferente visando reduzir as ameaças e amplificar as oportunidades.

*Tabela 9. Riscos priorizados*

Risco	Categoria	Classificação	Estratégia
Recurso financeiro não suficiente	Organizacional	Ameaça	Mitigar
Não obtenção de financiamentos	Gerenciamento de projetos	Ameaça	Eliminar
Criação de um ambiente colaborativo	Organizacional	Oportunidade	Explorar
Simulação do ambiente de trabalho	Técnico	Oportunidade	Explorar
Desenvolvimento de conhecimentos práticos	Técnico	Oportunidade	Melhorar
Desenvolvimento de profissionais mais capacitados	Técnico	Oportunidade	Melhorar
Não acesso à tecnologia existente	Técnico	Ameaça	Mitigar
Equipamentos e ferramentas inadequados	Técnico	Ameaça	Eliminar
Introdução/desenvolvimento de novas tecnologias	Técnico	Oportunidade	Melhorar
Piora do desempenho acadêmico	Organizacional	Ameaça	Eliminar
Falta de infraestrutura	Organizacional	Ameaça	Mitigar
Atraso na entrega dos produtos adquiridos	Externo	Ameaça	Mitigar
Assunto novo ou não familiar para os membros	Organizacional	Ameaça	Eliminar
Alta rotatividade de pessoal	Organizacional	Ameaça	Mitigar
Desenvolvimento de competências transversais	Técnico	Oportunidade	Explorar



O monitoramento destes riscos é fundamental para garantir o alcance aos objetivos propostos pelo projeto. As oportunidades envolvendo o crescimento profissional dos estudantes e desenvolvimento dos conhecimento práticos e teóricos são maximizados por meio do ambiente colaborativo criado e dos estudos desenvolvidos pela equipe. Estes estudos também são fundamentais para minimizar a probabilidade e impacto da falta de conhecimento sobre veículos elétricos, garantindo um protótipo seguro e passível de fabricação. A conciliação das atividades acadêmicas com as atividades do projeto é acompanhada de perto pelos coordenadores do projeto que programam as atividades de acordo com o calendário universitário.

Os riscos envolvendo recursos financeiros tiveram especial atenção. Apesar de possuir um recurso inicial, foram adotadas estratégias secundárias para levantamento de recursos financeiro, visando garantir sua disponibilidade quando necessário. Divulgação do projeto e busca por patrocinadores e parceiros são algumas das estratégias adotadas. Contudo, apesar das ações realizadas, o projeto sofreu atraso na sua entrega do protótipo devido à falta recurso financeiro. Outro risco que afeta o andamento do projeto é a rotatividade de membros. Para mitigar esta ameaça, ações de incentivo a participação do projeto são realizadas. Por fim, os riscos envolvendo infraestrutura e equipamentos inadequados são controlados por meio da busca de apoio dentro do próprio ambiente universitário.

## **7.4 GESTÃO DA COMUNICAÇÃO**

Por se tratar de um projeto universitário, a equipe do Ciclar é composta por estudantes que possuem diferentes horários de trabalho, o que dificulta a compatibilidade de tempo para reunião e impacta negativamente sobre a coesão do grupo, conforme evidenciado na análise de risco. Assim, visando atenuar tal impacto, o grupo de estudantes utiliza ferramentas de comunicação alternativas, versáteis e eficientes, que possibilitam o diálogo não presencial entre todos seus integrantes. Assim, são utilizadas quatro (4) principais ferramentas de comunicação:

- *Google groups*: serviço gratuito cuja finalidade é permitir uma comunicação mais eficaz e eficiente entre um grupo de discussão, utilizando o e-mail como ferramenta base;
- *Dropbox*: disco virtual que armazena, compartilha e permite editar pastas e arquivos. Por ser uma ferramenta baseada na web, seu funcionamento é limitado;
- *Facebook*: rede social da web com ampla cobertura e já utilizada pelos membros da equipe;
- *SMS* (mensagens de celular): uma das ferramentas de comunicação mais ágeis atualmente.

Apesar dessas ferramentas de comunicação se mostrarem muito eficientes e eficazes, optou-se por realizar uma reunião semanal com todos os integrantes da equipe, a fim de estimular a integração das diferentes áreas e monitorar o andamento das atividades. Do mesmo modo, cada área definida na EAP também realiza reuniões para tratar de assuntos técnicos. Ademais, por ser um projeto que envolve alta

tecnologia, também é necessário manter contato com empresas e pessoas dessa área. Assim, o projeto utiliza duas (2) principais fontes para manter o público externo informado: blog e página no facebook.

A Tabela 10 mostra a matriz de plano de comunicação, na qual apresenta as estratégias adotadas para cada grupo de interesse, bem como a periodicidade da comunicação.

Tabela 10. Estratégias de comunicação

Grupos de Interessados	Propósito das mensagens	Responsável pela Ação	Periodicidade
<b>Equipe do Projeto</b>	Responsabilidades, andamento do projeto, próximas etapas, alterações, resultados, desempenho da equipe, responsabilidades	Coordenação	Semanalmente, em caso de mudanças e/ou incidentes
<b>Professores envolvidos</b>	Andamento do projeto	Coordenação	Quinzenalmente
<b>Patrocinadores</b>	Objetivos, impactos, andamento do projeto, importância	Coordenação, equipe de comunicação	Diariamente
<b>Público externo</b>	Andamento do projeto, próximos passos, eventos	Equipe de comunicação	Diariamente

Definidas as estratégias, são definidos quais canais e ferramentas atendem de maneira mais adequada os propósitos e a periodicidade da comunicação (Figura 56). Esta identificação foi realizada baseando-se no fluxo da comunicação, de sua origem à seu destino.

Partes interessadas		Origem				
		Coordenadores	Equipes	Professores envolvidos	Público Externo	Patrocinadores
Destino	Coordenadores					
	Equipe				X	X
	Professores envolvidos				X	
	Público Externo			X	X	X
	Patrocinadores				X	X

Legenda					
	Reunião		Twitter		e-mail
	Portfólio		Google groups		
	Dropbox		Facebook		SMS
	Blog		Apresentação e palestra		

Figura 56. Canais de comunicação

Fonte: Elaborado pela autora

## 8 CONCEPÇÃO TÉCNICA DO PRODUTO

*O presente capítulo expõe a concepção definida para o veículo elétrico, evidenciando a estrutura funcional dos sistemas e subsistemas que o compõe. Ademais, princípios de soluções são desenvolvidos para se iniciar a modelagem e sistematização do veículo.*

### 8.1 CONCEITO DO PRODUTO

Para especificar o funcionamento requerido do veículo elétrico, são utilizados diagramas funcionais, resultando em uma base para a descrição diagramática dos relacionamentos entre os blocos conceituais do produto. Estes diagramas definem o projeto de engenharia do produto, que consiste no projeto básico da solução proposta para que o produto atinja seu propósito. Para o veículo elétrico desenvolvido, cuja função principal é o movimento, é estabelecido o diagrama apresentado na Figura 57.

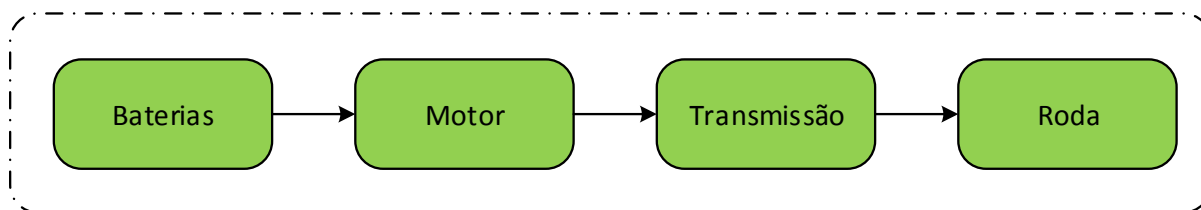


Figura 57. Projeto básico de engenharia do veículo elétrico  
Fonte: Elaborado pela autora

A partir do projeto básico de engenharia, é fundamental identificar os principais componentes do veículo de acordo com sua função na solução proposta. Para auxiliar na identificação dos componentes e subsistemas do veículo, utiliza-se a estrutura proposta por Barbalho (2006, pp.20-23), baseada em sete funções básicas que os componentes podem exercer: projeto básico de engenharia, sensor/tradutor, instrumentação, processamento/controle, drive, atuador e sistema de comunicação, conforme mostrado na Figura 58.

Os sistemas de direção, suspensão e freio representam sistemas mecânicos que atuam diretamente no projeto de engenharia principal, enquanto que o painel solar pode ser considerado um componente eletrônico secundário responsável por alimentar o sistema de controle do veículo. Os blocos representando o sensor de carga, o sensor de velocidade, o sensor de carga das baterias e o interruptor consistem nos elementos de mensuração que controlam as condições de operação e medem os parâmetros físicos do protótipo. Neste caso, vale ressaltar que o interruptor térmico também atua como controlador, uma vez que ele é responsável por comandar a operação do sistema de arrefecimento. Outros controladores mapeados na concepção do veículo elétrico são o controlador das baterias, o controlador do painel solar e a placa eletrônica.

No campo de instrumentação, encontra-se o controlador das baterias e a plataforma eletrônica, visto que transmitem informações dos sensores para os controladores. O carregador das baterias, o sistema de arrefecimento, a bateria de chumbo, a plataforma eletrônica e os controladores das baterias e do painel solar são classificados como atuadores e *drives* por serem componentes robustos utilizados para ajustar o funcionamento do sistema. Por fim, o painel de instrumentos e os cabos de transmissão de dados representam o sistema de comunicação, meio físico que viabiliza a transmissão e comunicação de sinais produzidos e utilizados pelos sensores e *drives* através do sistema como um todo.

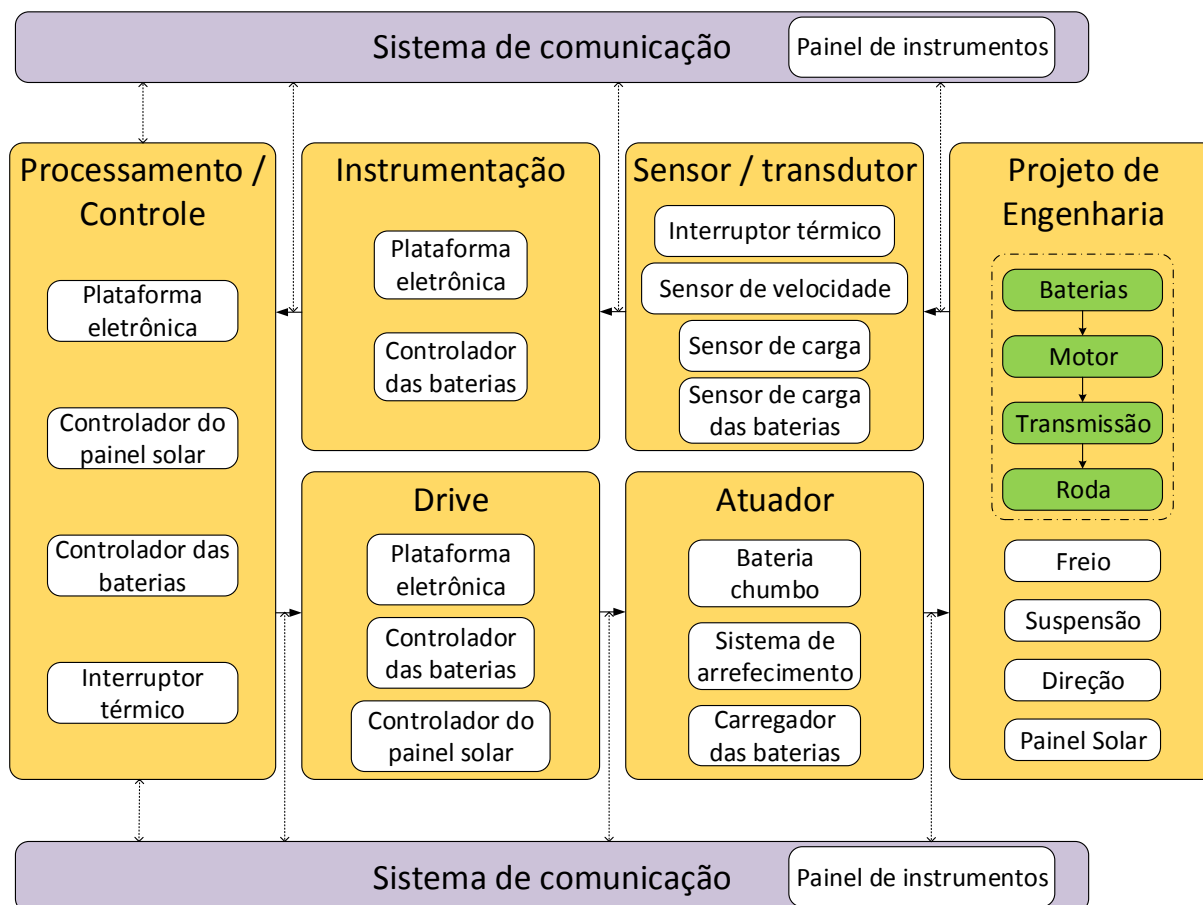


Figura 58. Elementos do veículo elétrico

Fonte: Elaborado pela autora

Assim sendo, após identificar e definir os componentes do veículo proposto e suas funções, a relação entre os subsistemas é detalhada para se evidenciar o fluxo de informação, energia e controle, identificando a relação direta entre os elementos do veículo, Figura 59. As relações definidas dão base para a modelagem e sistematização da concepção do produto, uma vez que evidencia a influência que cada elemento exerce sobre os demais, facilitando a identificação das alternativas que melhor atendem aos requisitos do produto. No diagrama, os diferentes tipos de energia estão representados pela seta contínua (—>), as informações, sinais e dados são representados pela seta tracejada (--->), por fim, o controle e comando estão representados pelo traço (———).

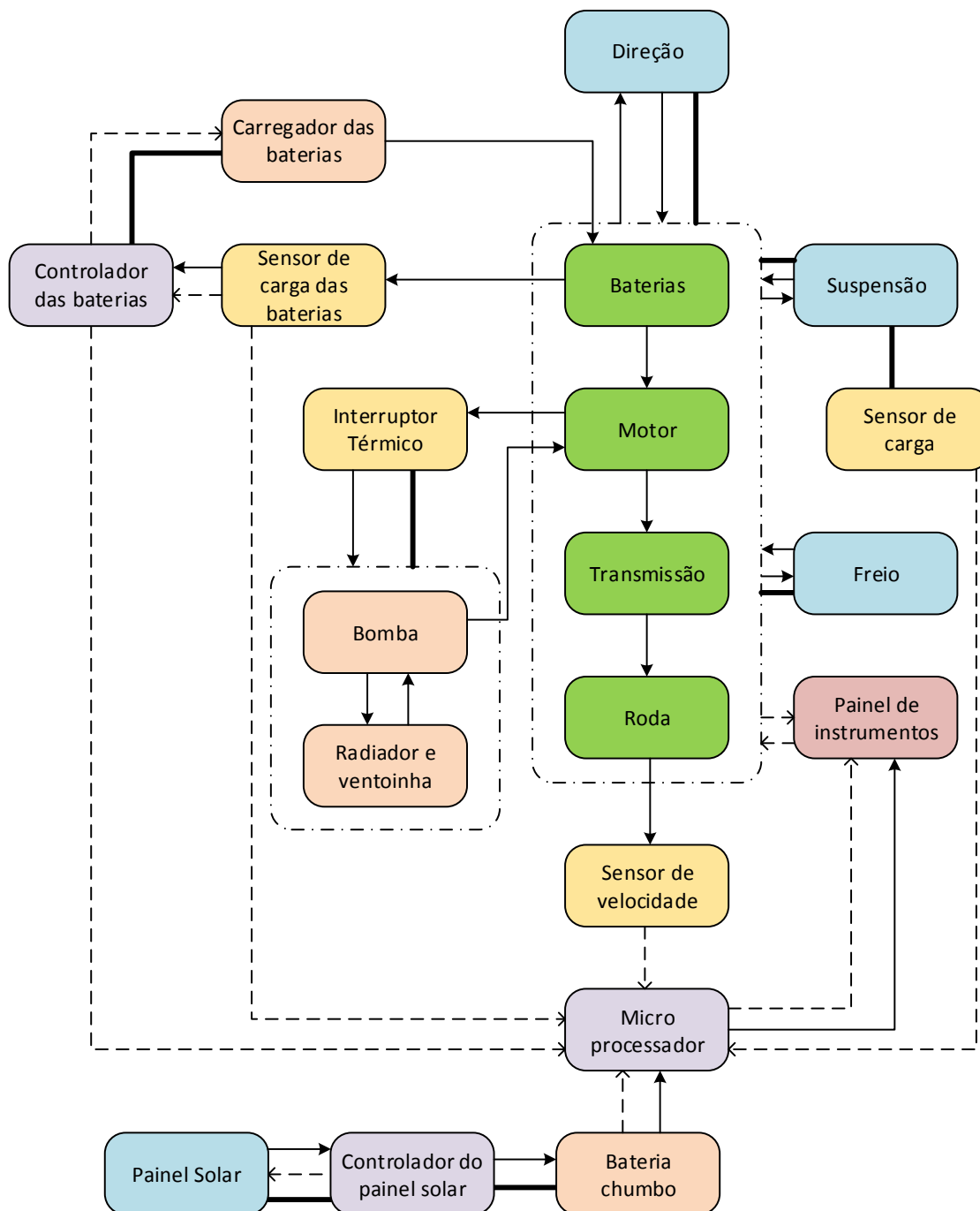


Figura 59. Diagrama funcional do veículo elétrico  
Fonte: Elaborado pela autora

## 8.2 MODELAGEM E SISTEMATIZAÇÃO DO CONCEITO

Definido os subsistemas do veículo elétrico, a seleção de componentes e materiais é realizada tomando como base o conceito de unidade rebocadora determinado. Diversos foram os estudos desenvolvidos para se chegar ao conceito selecionado, cuja escolha é fundamentada no atendimento aos requisitos do projeto. A Tabela 11 descreve as alternativas selecionadas que compõem o conceito do veículo elétrico, evidenciando os principais motivos de escolha e a referência na qual se pode encontrar maiores descrições sobre o estudo desenvolvido.

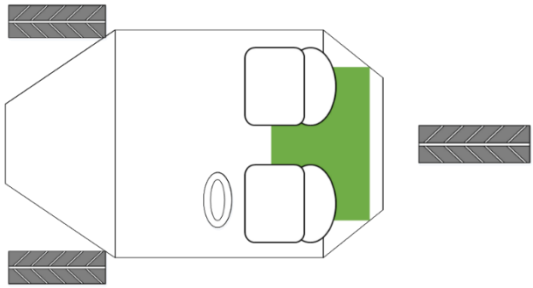
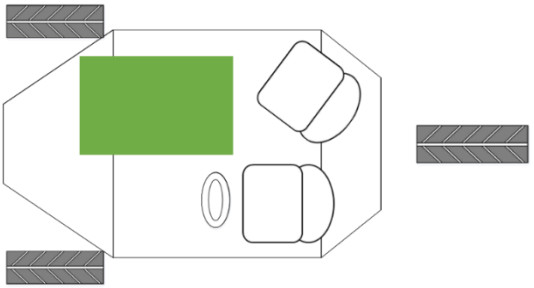
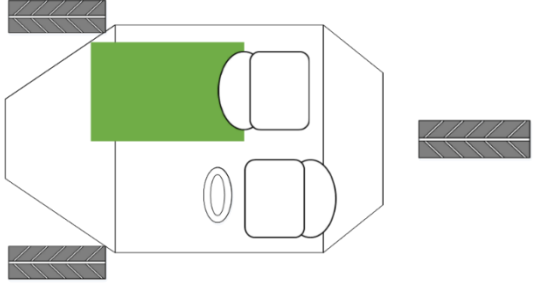
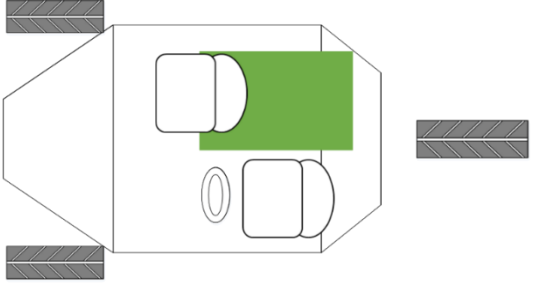
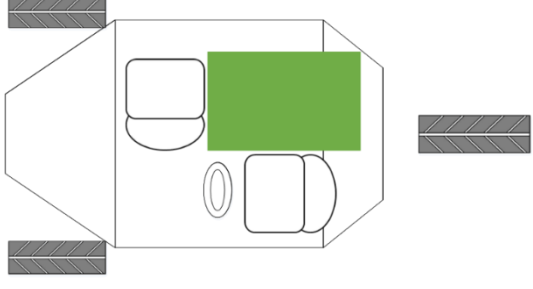
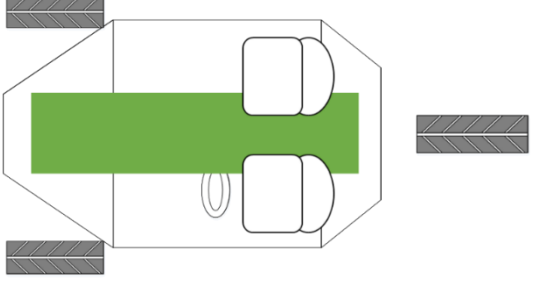
Tabela 11. Alternativas de concepção selecionadas

Item	Escolha	Justificativa	Referência
<b>Baterias</b>	Baterias de LiFePO <sub>4</sub>	Além de ser a alternativa mais sustentável, as baterias de LiFePO <sub>4</sub> contem alto teor de densidade energética por peso, pouca ou nenhuma necessidade de manutenção e um tempo de vida longo.	Orrico, 2013
<b>Motor</b>	Motor de corrente contínua escovado	O motor satisfaz a maioria das necessidades e possui várias vantagens em relação aos outros, portanto acredita-se que ele cumpriria bem sua tarefa nessa aplicação.	Orrico, 2013
<b>Transmissão</b>	Caixa de redução em dois estágios e redução por correia	Redução do espaço físico necessário para a transmissão, redução para diminuir os efeitos negativos de impactos e acelerações abruptas no motor e engrenagens.	Ciclar, 2012
<b>Direção</b>	Pinhão cremalheira sem assistência	Adaptação dos carros comerciais e benefício no consumo de energia	Documentação interna
<b>Suspensão</b>	Duplo A	A suspensão do tipo Duplo A é caracterizada por apresentar controle mais preciso do ângulo de camber, pequena variação de bitola ao longo do curso, pouca vibração transmitida à estrutura do veículo, elementos resistentes, curso útil alongado e possibilidade de configuração sobre-esterçante ou subesterçante.	Almeida, 2012
<b>Freio</b>	A disco dianteiro e traseiro	Peças comerciais, vantagem financeira e prática (montagem e manutenção), eficiência de frenagem	Documentação interna
<b>Painel de instrumentos</b>	Netbook de tela LCD de 10'2'' com fator de escala de 25:8	O netbook de tela LCD 10'2'' é o produto que mais se aproximou do tamanho padrão para um painel comercial, possibilitando a programação em JAVA, linguagem já conhecida pelos membros da equipe, facilitando sua aplicação.	Ciclar, 2012
<b>Painel Solar</b>	Painel fotovoltaico de 135 W e 1,00 m <sup>2</sup>	Conforme dimensionamento para alimentação da eletrônica embarcada, analisando-se a quantidade de horas de sol pleno para o mês com a menor média mensal de irradiação	Ciclar, 2012
<b>Micro processador</b>	Arduino Mega 2560	O arduino apresenta uma vasta comunidade e pode ser desenvolvido pelos próprios membros da equipe.	Ciclar, 2012
<b>Chassi</b>	Estrutura tubular	Além da facilidade de se encontrar o material no mercado local, o chassi tubular é caracterizado pelo seu baixo custo de produção e utilização de processos de fabricação convencionais para sua confecção	Documentação interna

Os componentes e subsistemas definidos foram escolhidos a partir da análise de atendimento aos requisitos do produto, sendo os mais influentes o custo de produção, capacidade de carga, velocidade e autonomia, intercambiabilidade de peças e cumprimento das normas regulamentadoras. Entretanto, a seleção da concepção dos principais sistemas do veículo geraram uma demanda para dimensionar a distribuição de componentes na estrutura do chassi, de forma a dar insumo para os demais projetos a serem desenvolvidos. Neste sentido, visto que o conjunto de baterias é caracterizado por suas altas dimensões, bem como por restrições de posicionamento, identificou-se que a disposição do banco de baterias é o componente que mais demanda espaço no chassi, influenciando diretamente na distribuição dos demais elementos.

Com efeito, foram geradas alternativas de concepção da distribuição do banco de baterias com relação à posição dos passageiros no veículo elétrico, de forma a otimizar o espaço da estrutura definida, atendendo a legislação que se aplica ao protótipo. O detalhamento das alternativas geradas é apresentado na Tabela 12.

*Tabela 12. Alternativas de concepção do banco de baterias*

 <p><b>Alternativa 1</b>          Dispor as baterias na parte de trás do veículo e os bancos dos passageiros paralelos virados para a frente.</p>	 <p><b>Alternativa 2</b>          Dispor as baterias na parte da frente do veículo, o banco do motorista virado para a frente e o banco do passageiro com angulação virado para a frente.</p>
 <p><b>Alternativa 3</b>          Dispor as baterias na parte da frente do veículo, o banco do motorista virado para a frente e o banco do passageiro virado para trás.</p>	 <p><b>Alternativa 4</b>          Dispor as baterias na parte de trás do veículo, os bancos dos passageiros paralelos virados para a frente e o banco do passageiro mais à frente.</p>
 <p><b>Alternativa 5</b>          Dispor as baterias na parte de trás do veículo, o banco do motorista virado para a frente e o banco do passageiro perpendicular ao banco do motorista e virado para fora do veículo.</p>	 <p><b>Alternativa 6</b>          Dispor as baterias no centro do veículo e os bancos dos passageiros paralelos virados para a frente.</p>

Após a geração de alternativas, foram levantados os critérios aos quais as alternativas seriam julgadas para se selecionar o conceito que mais se adequa aos requisitos do produto. O método utilizado para avaliação das alternativas viabiliza a medição da capacidade de atender aos critérios de avaliação de cada concepção por meio de uma comparação relativa com uma referência definida. Para a avaliação em questão, são definidos cinco (5) critérios principais que sofrem variação de acordo com os conceitos propostos:

- Legislação: facilidade no atendimento às normas às quais o veículo está submetido;
- Viabilidade dimensional: o carro não pode ser muito alto nem muito largo;
- Segurança do passageiro: posição do banco e relação com a carenagem;
- Ergonomia física e visual: ergonomia do espaço e visão do retrovisor;
- Distribuição de peso: como o banco de baterias é o componente que apresenta maior peso, é necessário verificar sua posição para que a distribuição de peso no veículo seja feita de forma equilibrada.

Vale ressaltar que os critérios definidos para avaliação da concepção do banco de baterias estão de acordo com os requisitos do produto definidos, considerando-se para esta análise apenas os requisitos que seriam afetados diretamente pelas baterias. Os demais requisitos do produto foram englobados na análise dos demais componentes selecionados.

Desta forma, os critérios definidos para avaliação do banco de baterias são valoradas de acordo com seus grau de importância em relação à outro critério. O resultado obtido, mostrado na Tabela 13, representa o peso de cada critério de análise.

*Tabela 13. Valoração dos critérios de avaliação*

	Legislação	Viabilidade dimensional	Segurança do passageiro	Ergonomia física e visual	Distribuição de peso	Valoração
Legislação	0	3	3	5	5	16
Viabilidade dimensional	3	0	4	4	5	16
Segurança do passageiro	3	2	0	5	5	15
Ergonomia física e visual	1	1	1	0	4	7
Distribuição de peso	1	1	1	2	0	5

Legenda	
Muito menos importante	1
Menos importante	2
Igual importância	3
Mais importante	4
Muito mais importante	5

Após valorar os critérios, a alternativa de concepção um foi definida como a referência, ou seja, todas as demais alternativas serão avaliações baseando-se na comparação dos critérios definidos com a alternativa um (referência). Para cada avaliação comparativa com relação aos requisitos, a alternativa



em avaliação foi valorado como sendo “muito melhor”, “melhor”, “igual”, “pior” e “muito pior” a alternativa de referência, recebendo respectivamente os valores “++”, “+”, “0”, “-” e “--”. Assim, o resultado de cada alternativa é calculado pelo somatório do produto de cada escore pelo peso de cada critério de seleção, conforme mostrado na Tabela 14.

*Tabela 14. Avaliação comparativa das alternativas*

Critérios de seleção	Alternativa						Peso
	1	2	3	4	5	6	
Legislação	Referência	--	-	-	--	0	16
Viabilidade dimensional		+	++	+	++	++	16
Segurança do passageiro		-	--	0	--	0	15
Ergonomia física e visual		-	--	--	--	0	7
Distribuição de peso		+	+	0	0	++	5
Soma +	0	21	37	16	32	42	
Soma -	0	61	46	23	69	0	
Resultado	0	-40	-9	-7	-37	42	

As alternativas 1 e 6 são caracterizadas por seguir o conceito dos carros convencionais e, por isso, apresentam vantagem no critério “legislação” devido sua familiaridade. Entretanto, na alternativa 1, os bancos dos passageiros se encontram em cima do banco de baterias, o que exigiria uma altura maior, prejudicando a estabilidade e o comportamento dinâmico do veículo. As alternativas 2 e 4 também apresentam desvantagem no critério dimensional, visto que para apresentar espaço suficiente para o passageiro, tais alternativas demandam um entre eixos maior, o que aumenta o raio de curvatura do veículo e dificulta a realização de curvas fechadas presentes ao longo do trajeto.

Quanto ao quesito de segurança, as alternativas 3 e 5 apresentam os piores resultados visto que o passageiro ficaria virado para fora do veículo e, para aumentar a segurança, seria necessário desenvolver mecanismos que dificultassem sua saída e/ou expulsão do veículo. Por sua vez, apesar do passageiro não ficar totalmente virado para fora do carro, a segurança da alternativa 2 é prejudicada pela angulação do banco do passageiro, que facilita a saída e/ou expulsão do passageiro quando o veículo encontra-se em movimento. Assim, as alternativas 1, 4 e 6 apresentam vantagem no critério segurança por seguirem o conceito de ambos os passageiros estarem paralelos e voltados para frente do veículo.

Nas alternativas 3, 4 e 5, podemos observar que a disposição dos bancos prejudicam a ergonomia visual, uma vez que nestas alternativas, o motorista teria dificuldade de visualizar o retrovisor direito devido a posição do passageiro. Já a ergonomia física, as alternativas 2, 3, 4 e 5 são desvantajosas devido à falta de espaço para o passageiro, o que poderia ser solucionado com o aumento das dimensões do veículo, impactando negativamente no critério dimensional. Por fim, a alternativa 6 apresentou melhores resultados no critério de distribuição de peso, visto que o banco de baterias se encontra centralizado no veículo. As alternativas 2 e 3 também apresentam vantagens nesse critério pois o banco de baterias em

ambas as alternativas está localizado na parte frontal do veículo, promovendo uma melhor distribuição de peso no veículo.

Neste sentido, após realizar todas as análises e valorações comparativas, concluiu-se que o conceito da alternativa 6 é o que melhor atende aos requisitos do produto (Figura 60). Vale ressaltar que o modelo selecionado representa a concepção que irá prosseguir no processo do desenvolvimento do veículo e, por isso, poderá haver alterações na sua configuração à medida que as soluções forem sendo desenvolvidas, fabricadas e montadas, sem porém, fugir às diretrizes aqui discutidas.

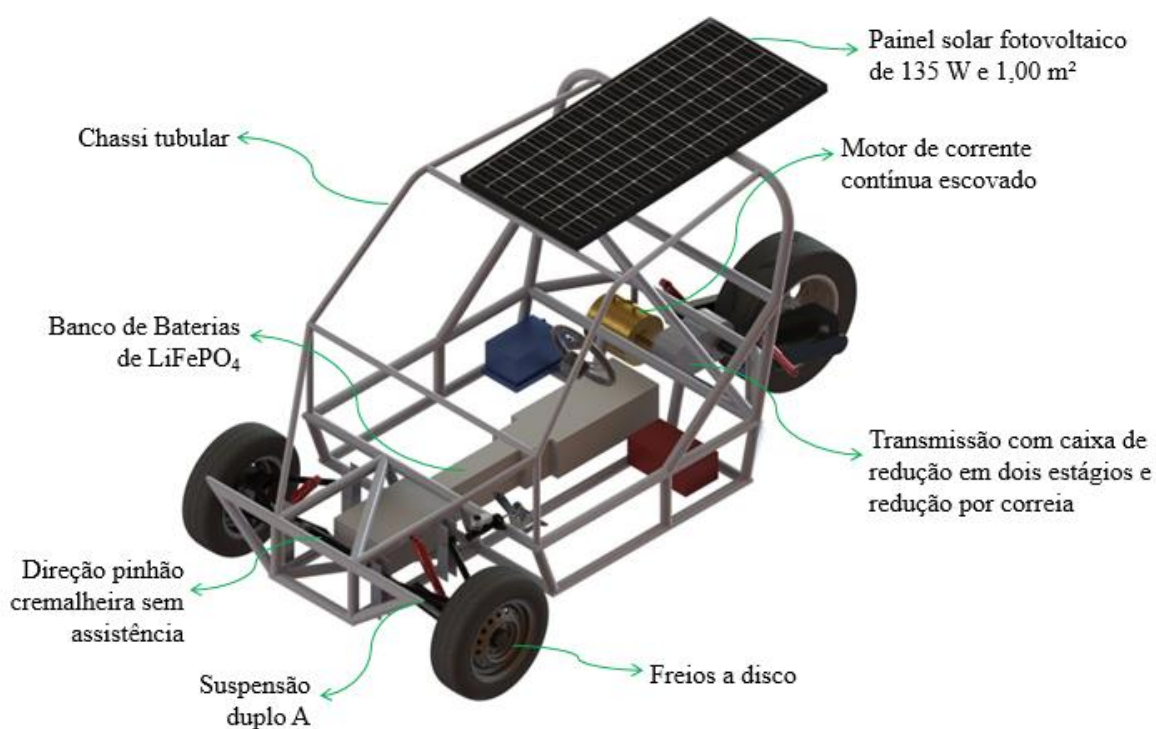


Figura 60. Concepção selecionado  
Fonte: Elaborado pela autora

Na concepção apresentada, o motor de corrente contínua escovado é alimentado por um banco de baterias de LiFePO<sub>4</sub> distribuído no centro do veículo. A transmissão da potência do motor para a roda do veículo é realizada por meio de uma caixa de redução em dois estágios e redução por correia. A suspensão duplo A e a direção de pinhão cremalheira sem assistência garantem a estabilidade e direcionamento do veículo, enquanto os freios a disco dianteiro e traseiro realizam a frenagem. O chassi tubular possibilita a redução do custo de produção do veículo e fabricação a partir de processos convencionais. Por fim, o painel solar de 1,00 m<sup>2</sup> fornece energia para toda a eletrônica embarcada e painel de instrumentação de forma sustentável. Desta maneira, o veículo elétrico é capaz de realizar as rotas estabelecidas para a coleta seletiva de modo sustentável e minimizando seu custo de operação.

### 8.3 INTERFACE DE CONTROLE

Ao identificar os componentes que compõem a arquitetura do veículo elétrico, constrói-se o diagrama de blocos do sistema de controle mostrado na Figura 61, no qual as setas tracejadas ( $\leftarrow - - \rightarrow$ ) representam a troca de informações e sinais entre os componentes do sistemas e as setas de linha contínua ( $\longrightarrow$ ) indicam o fluxo de controle entre o controle central e os demais dispositivos.

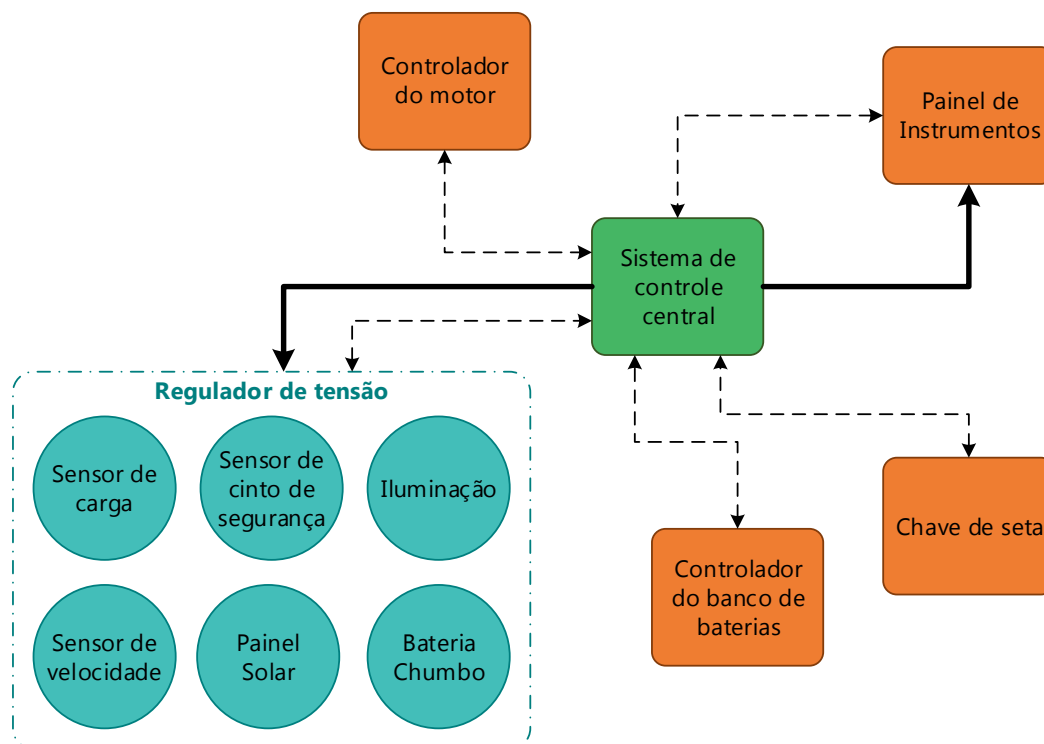


Figura 61. Diagrama da interface de controle

Fonte: Elaborado pela autora

O sistema de controle central consiste no sistema da plataforma de prototipagem eletrônica de placa única (melhor detalhado na seção 9.9.1). O controle central é responsável por coletar e apresentar dados do veículo na interface gráfica do painel de instrumentos, mantendo os passageiros informados sobre os status dos diferentes sistemas do veículo.

Assim, o controle central atua como unificador e centralizador das informações coletadas no controlador do motor, nas baterias e no acionamento de funções da chave de seta. Outra função importante do sistema de controle central é regularizar a tensão de cada elemento da eletrônica embarcada, garantindo seu pleno funcionamento.

### 8.4 PRINCIPAIS PARTES: ÁRVORE DO PRODUTO

O conceito de árvore de produtos fundamenta a estrutura de documentação elaborada para o veículo, utilizada para verificar e validar o funcionamento do produto desenvolvido. Neste sentido, a Figura 62 define os elementos relacionados com a documentação do veículo elétrico por meio da representação gráfica da árvore do veículo.

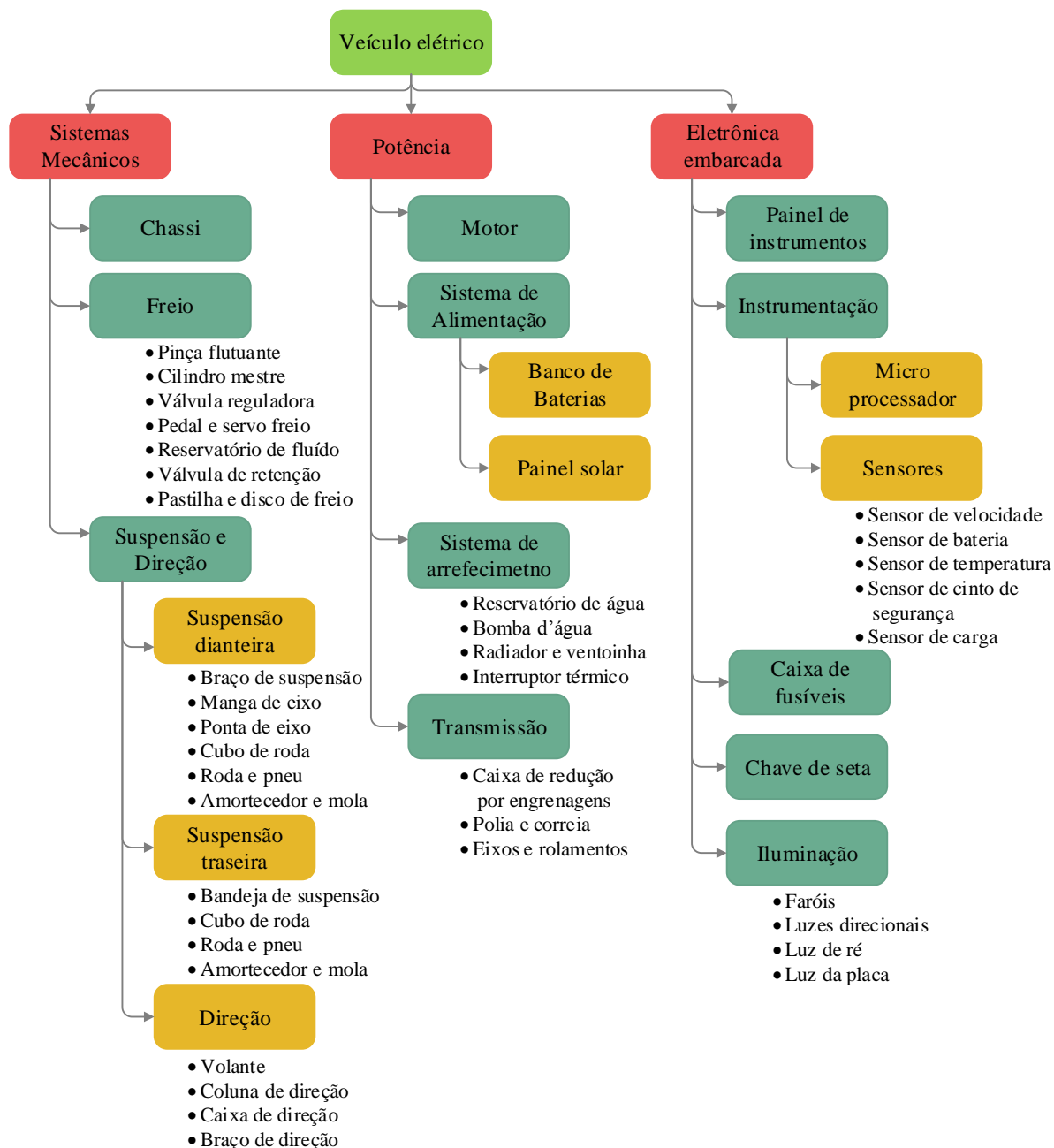


Figura 62. Árvore do veículo elétrico proposto  
Fonte: Elaborado pela autora

A árvore do veículo elétrico apresenta quatro níveis do produto, que auxiliam na identificação e definição dos pacotes de trabalho a serem desenvolvidos, bem como na definição de prazos e cronograma. As partes principais do veículo são a Potência, os Sistemas Mecânicos e a Eletrônica Embarcada. O sistema de Potência tem a função de iniciar o movimento, por isso engloba os componentes que dão energia ao veículo. Os Sistemas Mecânicos são responsáveis por manter a estabilidade do veículo durante sua utilização. Por fim, a Eletrônica Embarcada viabiliza a interface de comunicação com o usuário, englobando também componentes eletrônicos que auxiliam a utilização do veículo. A função de cada componentes da arquitetura do veículo é apresentada na sequência.

#### 8.4.1 Sistema de alimentação

O sistema de alimentação energético do veículo é composto pelo Banco de Baterias e pelo Painel Solar, conforme mostrado na Figura 63. Suas funções são:

- Fornecer energia para o motor
- Alimentação da eletrônica embarcada

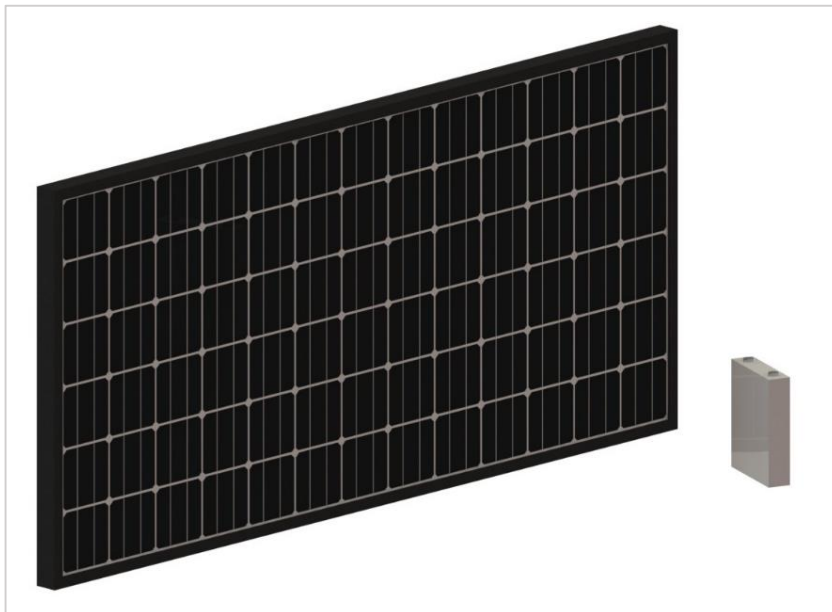


Figura 63. Componentes do sistema de alimentação  
Fonte: Elaborado pela autora

#### 8.4.2 Motor

O cerne do veículo é o motor elétrico de corrente contínua, representado na Figura 64. A função básica do motor é:

- Fornecer força motriz para o veículo



Figura 64. Motor elétrico de corrente contínua  
Fonte: Elaborado pela autora

### 8.4.3 Transmissão

O sistema de transmissão é composto por um caixa de redução e polias, conforme mostrado na Figura 65, e tem a função de:

- Transmitir a força motriz para os pneus, gerando o deslocamento do veículo



Figura 65. Sistema de transmissão  
Fonte: Elaborado pela autora

### 8.4.4 Sistema de arrefecimento

O sistema de arrefecimento é projetado para garantir que o veículo opere dentro de uma faixa ideal de temperatura (Figura 66). Assim, suas funções são:

- Resfriar o motor
- Identificar variações de temperatura



Figura 66. Componentes do sistema de arrefecimento (bomba e radiador)  
Fonte: Elaborado pela autora

### 8.4.5 Iluminação

Durante a operação do veículo, a iluminação será fundamental para a visibilidade em determinadas condições climáticas e turnos de utilização (Figura 67). A iluminação tem como funções:

- Sinalizar operação de ré
- Sinalizar freio de mão acionado
- Iluminar caminho, garantindo visibilidade do motorista

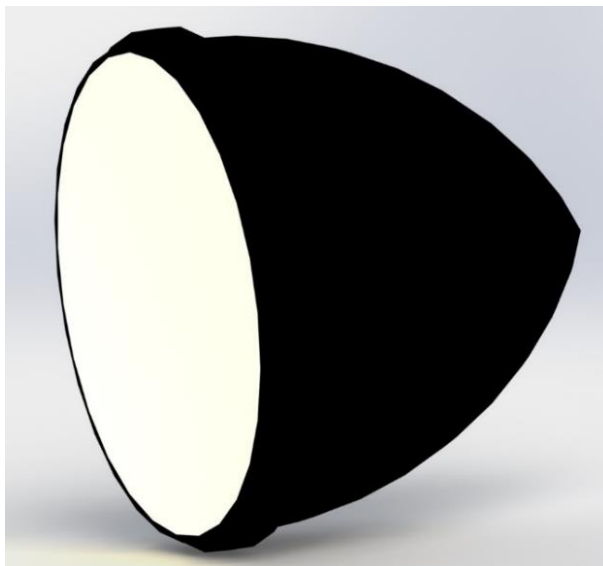


Figura 67. Farol dianteiro, componente do conjunto de iluminação  
Fonte: Elaborado pela autora

### 8.4.6 Chave de seta

A chave de seta, Figura 68, é o componente pelo qual o operador irá informar determinadas ações que serão realizadas durante a operação do veículo. Sua função é:

- Identificar operação que se deseja realizar
- Enviar sinais para o micro processador

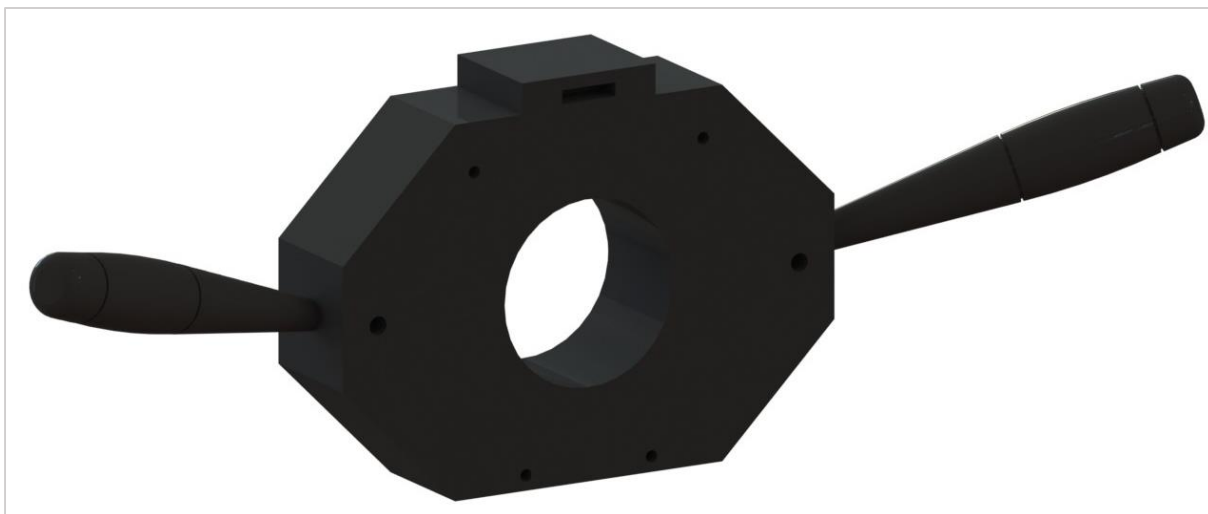


Figura 68. Chave de seta  
Fonte: Elaborado pela autora



#### 8.4.7 Caixa de fusíveis

A caixa de fusíveis garante a chegada da corrente adequada nos componentes da eletrônica embarcada por meio de fusíveis, conforme ilustrado na Figura 69, assim sua função é:

- Controlar corrente

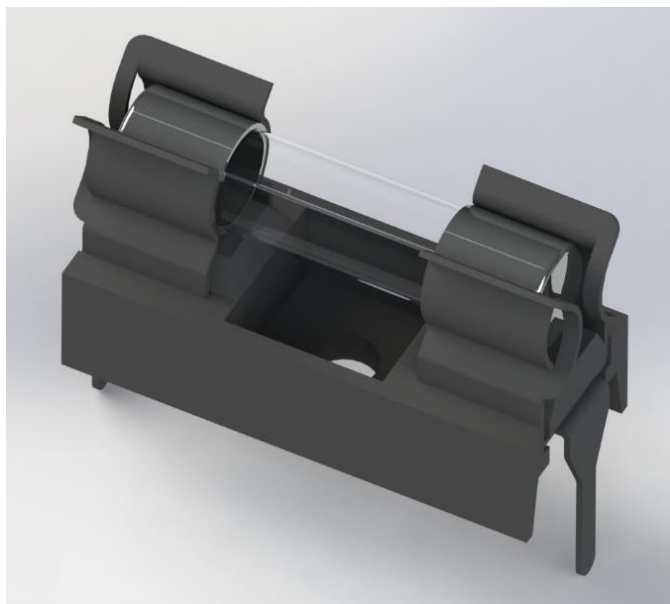


Figura 69. Fusível utilizado na caixa de fusíveis

Fonte: Elaborado pela autora

#### 8.4.8 Painel de instrumentos

O painel de instrumentos, Figura 70, consiste na interface de comunicação com o operador, desempenhando as seguintes funções:

- Informar situação de operação
- Alertar problemas e/ou falhas no sistema

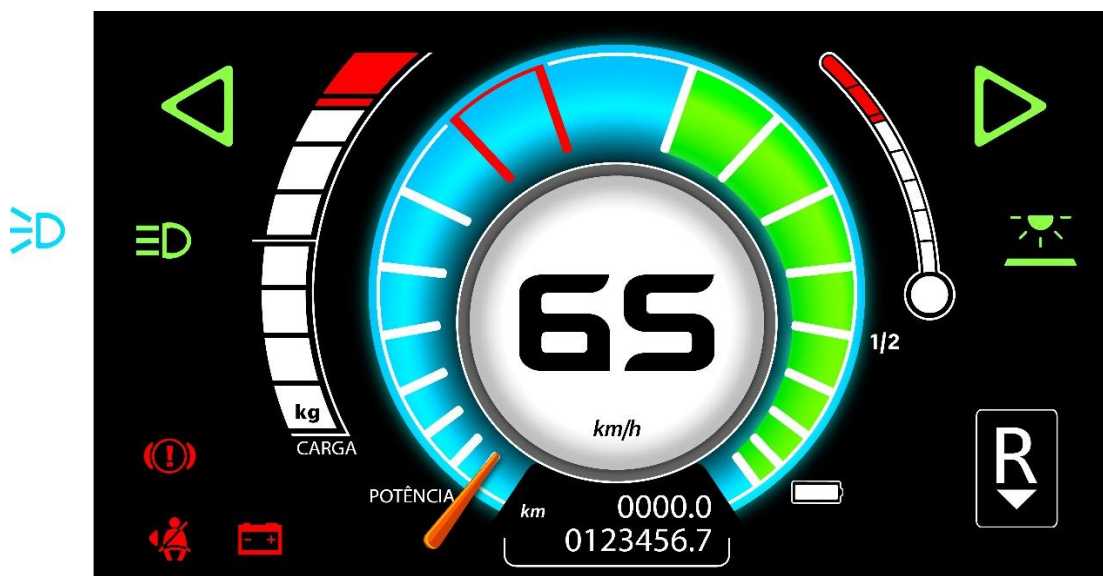


Figura 70. Design do painel de instrumentos

Fonte: Documentação interna Ciclar



#### 8.4.9 Instrumentação

A instrumentação é composta por sensores e pelo micro processador, conforme representado na Figura 71. Assim, este subsistema tem as funções básicas de:

- Mensurar parâmetros do veículo
- Enviar sinal para acionar os controladores/atuadores
- Unificar informação
- Enviar sinal de situação atual de operação para o operador
- Transcrição de dados

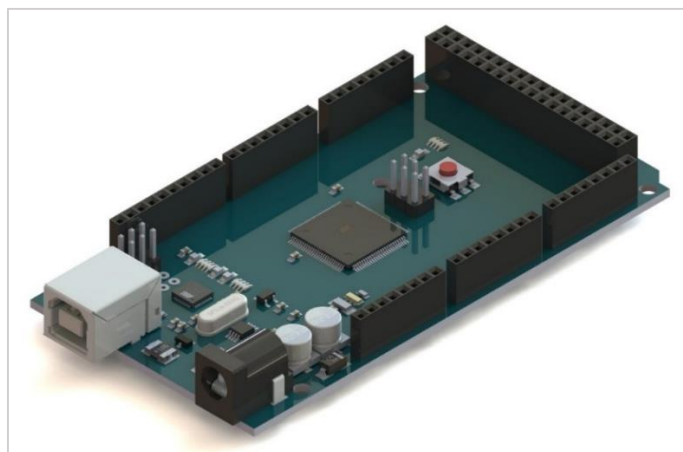


Figura 71. Placa arduino  
Fonte: Elaborado pela autora

#### 8.4.10 Chassi

O chassi consiste na estrutura base ou “esqueleto” do veículo, Figura 72. Sua função é:

- Dar suporte para os demais componentes do veículo
- Garantir ergonomia dos passageiros

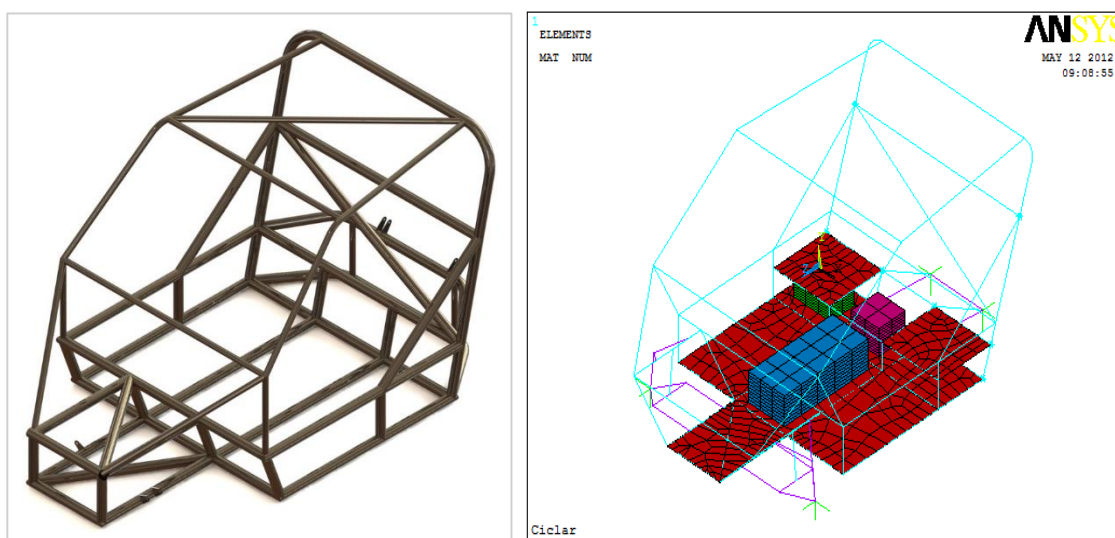


Figura 72. Chassi  
Fonte: Elaborado pela autora

#### 8.4.11 Freio

O sistema de freio é responsável pela frenagem e parada do veículo (Figura 73), tendo como função:

- Frenar o veículo, dissipando a energia cinética do veículo em forma de calor por atrito

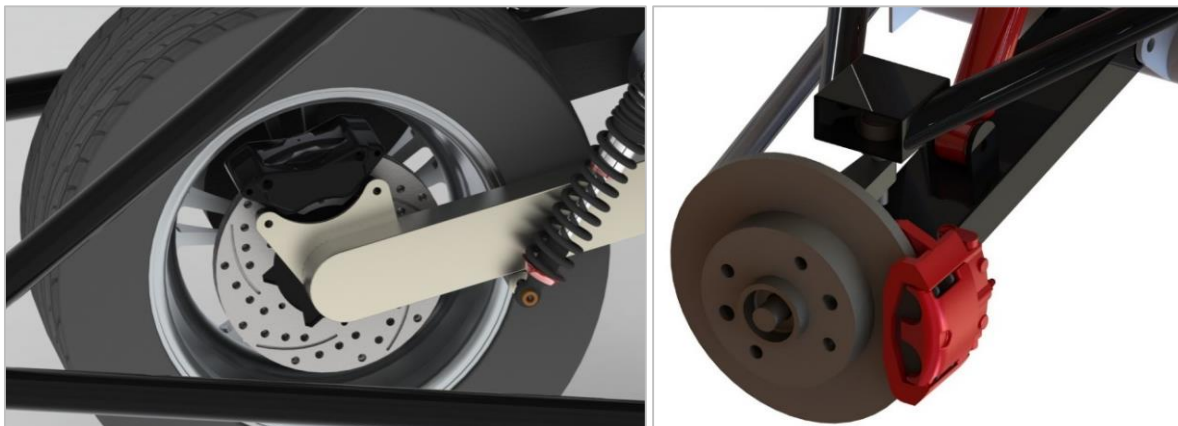


Figura 73. Sistema de freio  
Fonte: Elaborado pela autora

#### 8.4.12 Suspensão e Direção

O sistema de suspensão e direção é composto por elementos mecânicos que garantem o direcionamento e estabilidade do veículo, Figura 74. As principais funções deste sistema são:

- Direcionar o veículo
- Garantir estabilidade do veículo
- Absorver impactos ao longo do trajeto
- Aumentar a vida útil do veículo por meio da redução de fadiga na estrutura do veículo

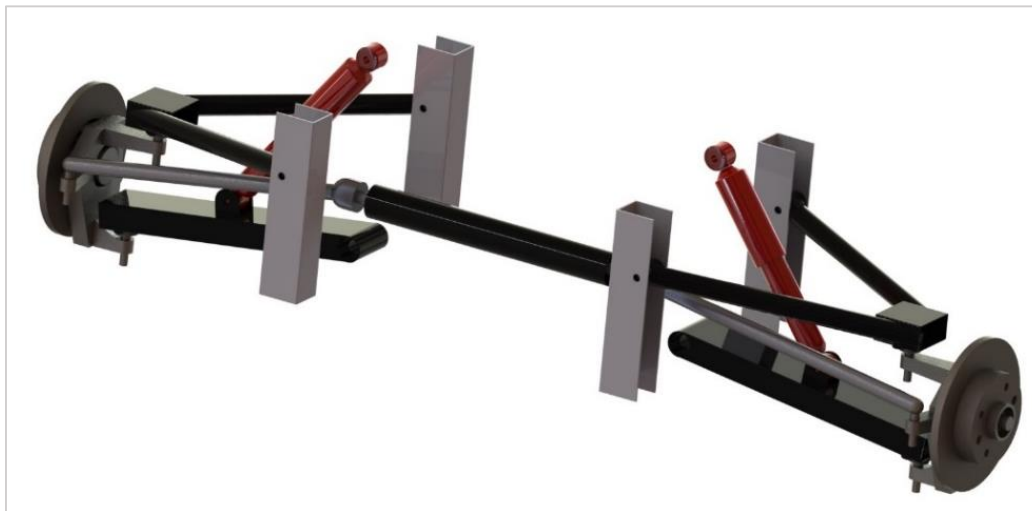


Figura 74. Sistema de suspensão dianteira e direção  
Fonte: Elaborado pela autora

## 9 PROJETO TÉCNICO

*Neste capítulo as soluções principais do veículo elétrico são detalhadas tecnicamente, apresentando todos os componentes que compõe as soluções, definindo a especificação de cada componente e subsistema.*

### 9.1 CHASSI

O chassi é a estrutura responsável por suportar todos os demais sistemas do veículo e suportar seus ocupantes, por isso, é um dos componentes básicos mais importantes de um automóvel. Por se tratar de uma estrutura interna, além de manter a estabilidade, Milliken *et al* (1995), afirmam que o chassi deve suportar todas as cargas mecânicas, garantindo a segurança aos passageiros e a correta operação dos sistemas de direção e suspensão.

O aumento dos padrões de exigência referentes aos parâmetros de rigidez, leveza e segurança, fez com que os chassis automotivos atingissem formas construtivas complexas, que permitem o aumento da eficiência. De tal modo, a utilização de programas de análise estrutural por modelagem se tornaram comuns no desenvolvimento de chassi veiculares. Todavia, vale ressaltar que a aplicação correta destes métodos se baseia no conhecimento tanto das características de operação, como também das limitações dos modelos numéricos que serão implementados (Almeida, 2012).

Neste sentido, a configuração atual do projeto do chassi do veículo elétrico satisfaz todas as necessidades de conforto, visibilidade, rigidez e resistência, além de tornar o processo de fabricação mais simples e viabilizar um design de carenagem mais apropriado. A Figura 75 apresenta os desenhos técnicos com as principais dimensões do chassi do veículo elétrico.

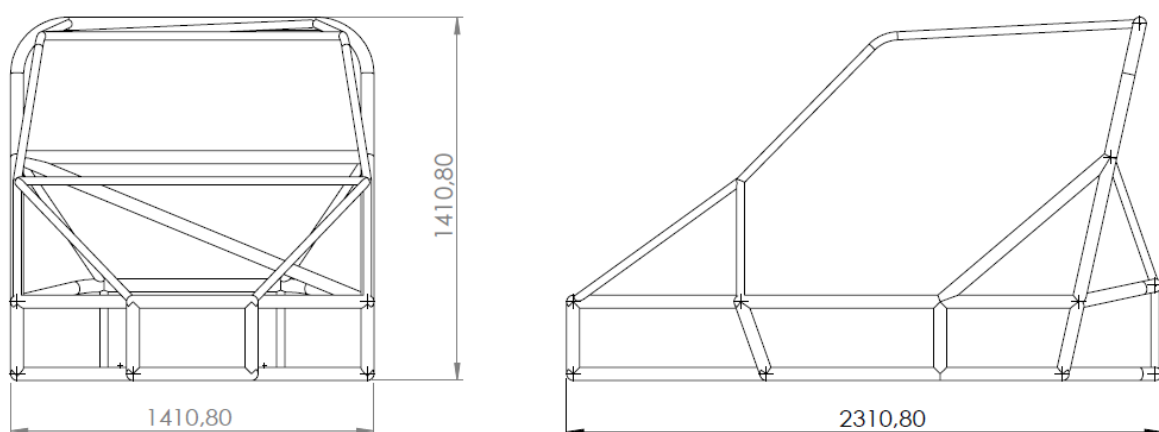


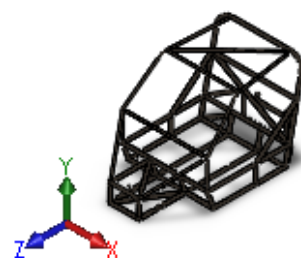
Figura 75. Desenho técnico das medidas principais do chassi do veículo  
Fonte: Elaborado pela autora

Para garantir a segurança do chassi, foram realizadas simulações dos esforços atuantes em situações extremas de trabalho, como em um capotamento, numa situação de aceleração, em uma frenagem em

curva e numa colisão frontal. As acelerações às quais o chassi foi submetido em cada uma das situações são mostradas na Tabela 15.

*Tabela 15. Acelerações aplicadas em cada situação simulada*

Simulação	Aceleração na direção x (m/s <sup>2</sup> )	Aceleração na direção y (m/s <sup>2</sup> )	Aceleração na direção z (m/s <sup>2</sup> )
Capotamento	9,81	40	-40
Curva em frenagem	9,81	-9,81	-15
Aceleração	0	-9,81	-30
Colisão frontal	0	-9,81	-120



Desta forma, as tensões obtidas das simulações nos tubos do chassi foram analisadas em cada uma das simulações acima citadas utilizando o critério de falha de Von Mises. Tal análise resultou na definição de três tipos de tubos para composição final do chassi, de acordo com os níveis de tensões obtidos pelas simulações, conforme mostrado na Figura 76. Dentre tubos estruturais, os tubos pretos, que apresentam maior rigidez, foram utilizados para o assoalho, para as costas e para parte traseira do chassi. Os tubos estruturais, em cinza, apresenta uma rigidez intermediária. Já os tubos amarelos representam os travamentos e possuem a menor rigidez dentre os três tipos definidos.

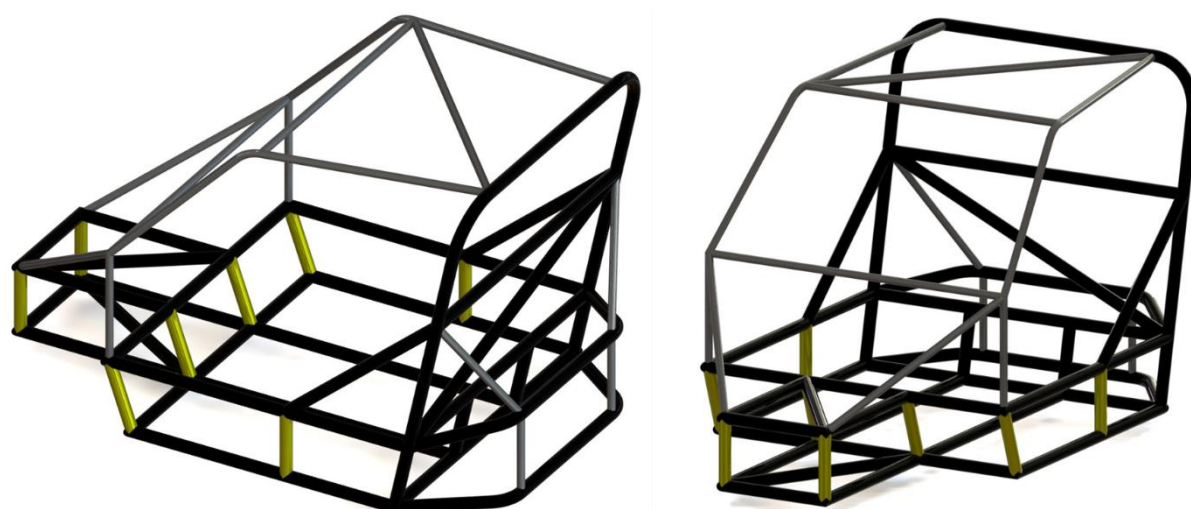


Figura 76. Chassi do veículo elétrico  
Fonte: Elaborado pela autora

## 9.2 FREIO

O freio automotivo é o sistema responsável por dissipar a energia cinética em forma de calor por atrito para reduzir a velocidade do veículo quando necessário, controlar a velocidade ou mantê-la constante e permitir que o veículo permaneça estacionado na ausência do condutor. Neste sentido, o desenvolvimento do sistema de frenagem deve levar em consideração aspectos como segurança, eficiência, controlabilidade, confiança, durabilidade e simplicidade (Shigeru, 1994). Seu funcionamento

se dá graças ao atrito entre um elemento não rotativo do veículo e um disco ou tambor que gira com a roda, produzindo a força necessária para reduzir a velocidade do veículo.

Os sistemas de freio são compostos por um subsistema de fricção e um subsistema hidráulico. Os elementos de fricção consistem naqueles que agem utilizando o atrito entre as partes para efetivar a frenagem do veículo. Por sua vez, os componentes hidráulicos potencializam as forças e/ou acionam os elementos que entraram em atrito, iniciando o funcionamento do freio.

Para o veículo elétrico foi desenvolvido um sistema de freio a disco com pinça flutuante, caracterizado por possibilitar construções mais compactas, podendo ser instalados em espaços reduzidos. Seus principais componentes são: pinça flutuante, cilindro mestre, válvula reguladora, servo freio, reservatório de fluido, pedal, válvula de retenção, pastilha e disco de freio. Ademais, o tubo hidráulico (linha de freio), o flexível de freio e os conectores garantem a integração entre os componentes de fricção e hidráulico.

Visto que o freio é um dos principais sistemas de segurança de um veículo, optou-se por adaptar um sistema de freio convencional e de fácil acesso a peças de reposição no mercado, facilitando assim a manutenção do sistema. A Figura 77 ilustra os componentes do freio definido para o veículo elétrico.

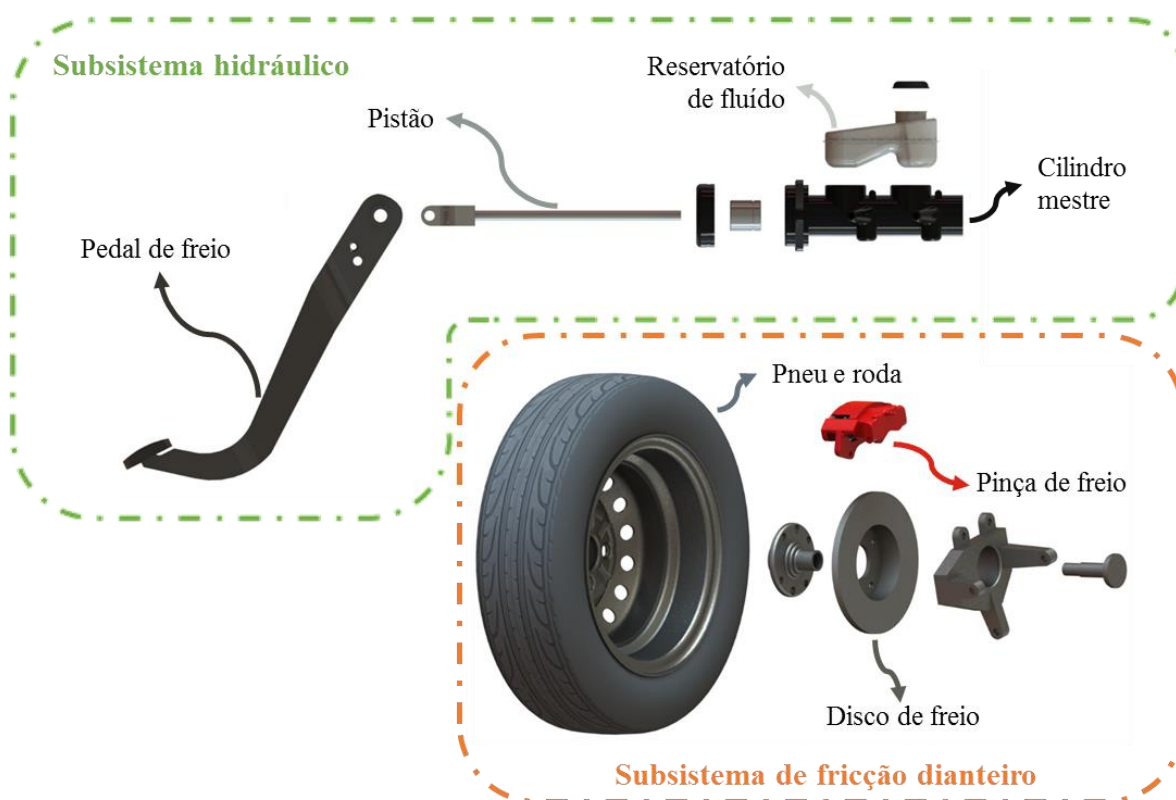


Figura 77. Sistema de freio do veículo  
Fonte: Elaborado pela autora

### 9.3 SUSPENSÃO E DIREÇÃO

O sistema de suspensão e direção é composto pelos subsistemas de suspensão dianteira, suspensão traseira e direção, melhor detalhados a seguir.



### 9.3.1 Suspensão dianteira

O subsistema de suspensão veicular consiste no conjunto de componentes cuja função é absorver os choques, vibrações ou irregularidades do solo que seriam transmitidos à estrutura ou aos passageiros. Além de absorver qualquer tipo de irregularidade, a suspensão também está diretamente ligada à estabilidade e segurança do veículo. Segundo Almeida (2012), para garantir que um sistema de suspensão seja dinâmica e ergonomicamente razoável é de fundamental importância deter conhecimento aprofundado dos diferentes tipos de suspensão, visando assim selecionar o tipo mais adequado para o contexto de cada projeto. Por outro lado, para a análise do tipo de suspensão ser bem sucedida é necessário dominar e conhecer os parâmetros geométricos, como sua forma de cálculo e sua influência em outros parâmetros e no veículo propriamente dito.

A suspensão dianteira do veículo elétrico é do tipo duplo A, também conhecida como *Double wishbone*. O sistema projetado para o veículo elétrico foi desenvolvido e geometricamente dimensionado a partir do código computacional proposto por Almeida (*op. cit.*), e é composto pelos seguintes elementos: dois braços ou bandejas de suspensão, dois terminais articulados, a manga de eixo, ponta de eixo, cubo de roda, roda, pneu, amortecedor, mola. O sistema e seus componentes são melhor visualizados na Figura 78.

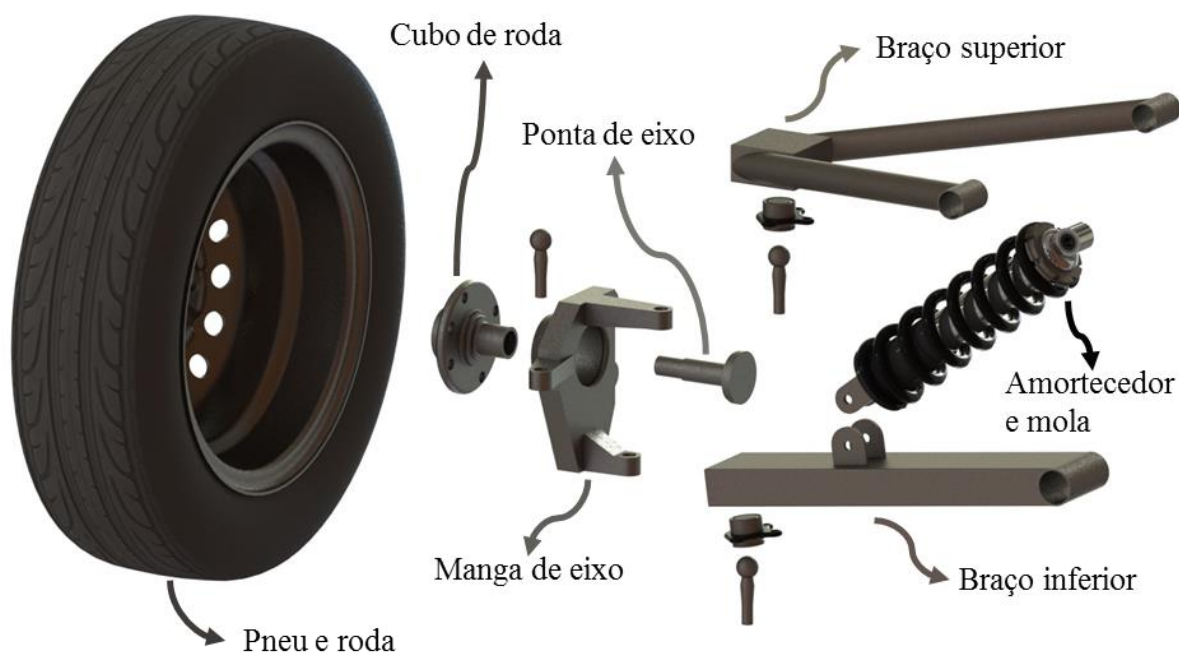


Figura 78. Suspensão dianteira  
Fonte: Elaborado pela autora

O sistema de suspensão projetado apresenta uma bitola de aproximadamente 1450 mm, visando assim eliminar problemas de tombamento em situações de curva e frenagem. Para a inclinação do pino mestre, optou-se por adaptar a manga comercial do GM Corsa Classic 1.6, facilitando a reposição de peças em caso de manutenção. O Corsa Classic possui um sistema de suspensão do tipo Mc Pherson e, para a adaptação necessária, foi fabricada uma peça que possibilita a fixação do pivô de suspensão no local onde originalmente é fixado o amortecedor.

### 9.3.2 Suspensão traseira

Em veículos que transitam em vias públicas é importante que prevaleça o comportamento subesterçante, ou seja, que ocorra o deslizamento das rodas dianteiras antes das rodas traseiras em curvas muito rápidas. Isso se deve ao fato de ser mais complicado para o condutor manter o veículo estável após perder aderência das rodas traseiras. Neste sentido, visando aplicar o efeito *jacking* no veículo elétrico, estabeleceu-se a altura do centro de rolagem dianteiro superior à altura do centro de rolagem traseiro (Almeida, 2012).

Assim, a suspensão traseira do veículo é do tipo bandeja biamortecida e, como seus cálculos de parâmetros podem ser aproximados aos de uma suspensão do tipo *Trailing Arm*, cujo centro de rolagem se encontra junto ao solo, este tipo de suspensão satisfaz as condições do efeito *jacking*. Por se tratar de uma suspensão bandeja biamortecida, os principais componentes do sistema são: bandeja de suspensão, cubo de roda, roda, pneu, amortecedor, mola. A Figura 79 ilustra os componentes e montagem do sistema de suspensão traseira.

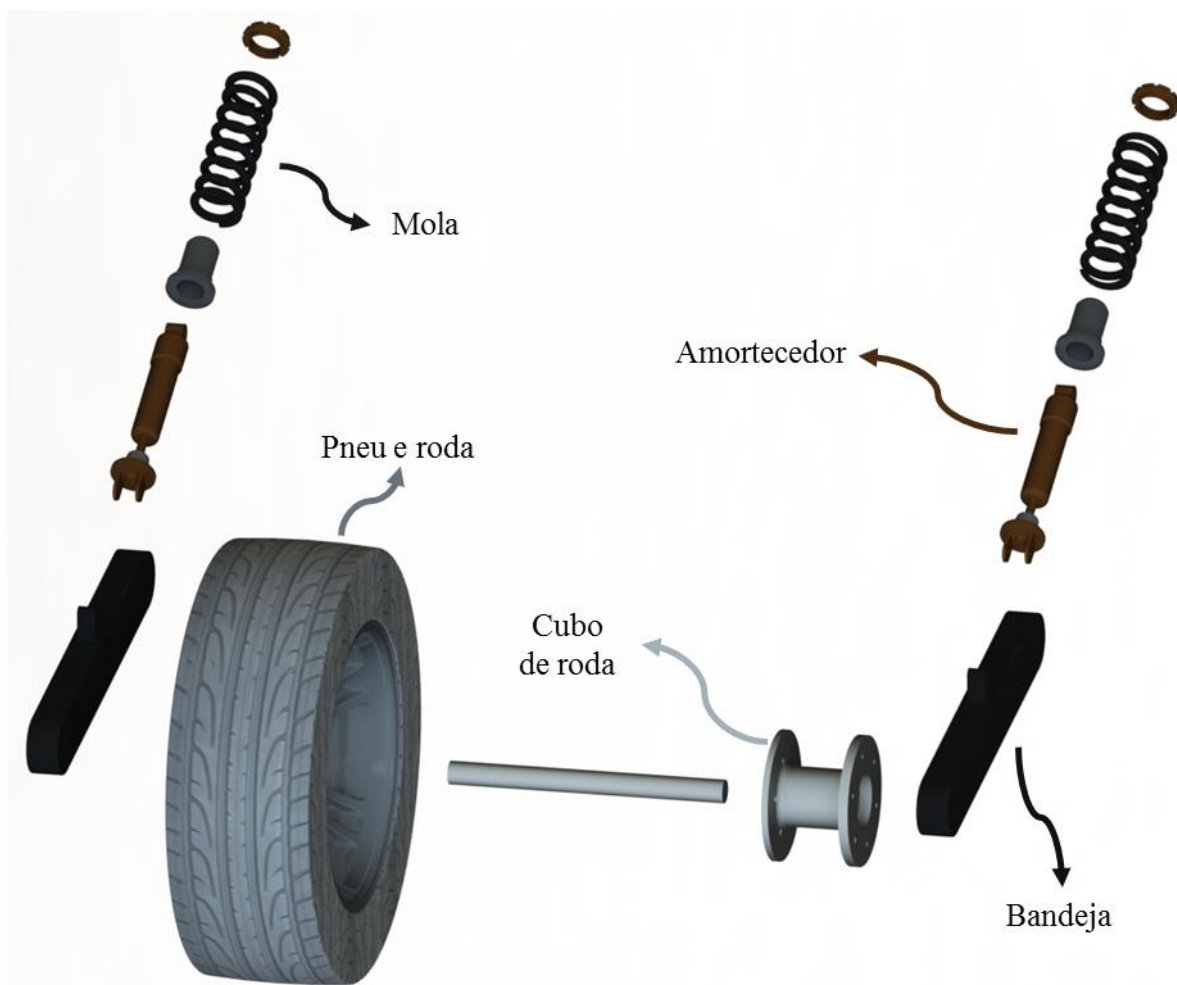


Figura 79. Suspensão traseira  
Fonte: Elaborado pela autora

### 9.3.3 Direção

Durante a operação de um veículo, o volante é utilizado para virar as rodas da frente na direção pretendida, de forma a fazer com que as rodas de trás acompanhem a trajetória traçada. O sistema de direção também inclui um mecanismo de redução que facilita a manobra do veículo e um subsistema que converte o movimento do volante no movimento linear necessários para girar as rodas. Vale ressaltar que a direção de um veículo não deve transmitir ao condutor os efeitos das irregularidades do trajeto, proporcionando apenas uma certa sensibilidade a esses efeitos.

O tipo de direção definido para o veículo elétrico é o pinhão e cremalheira, devido sua simplicidade e facilidade de encontrar seus componentes no mercado. Desta forma, os componentes que definem este sistema são: volante, coluna de direção, caixa de direção, terminal de direção e braço de direção. A Figura 80 apresenta os componentes do sistema de direção do veículo elétrico.

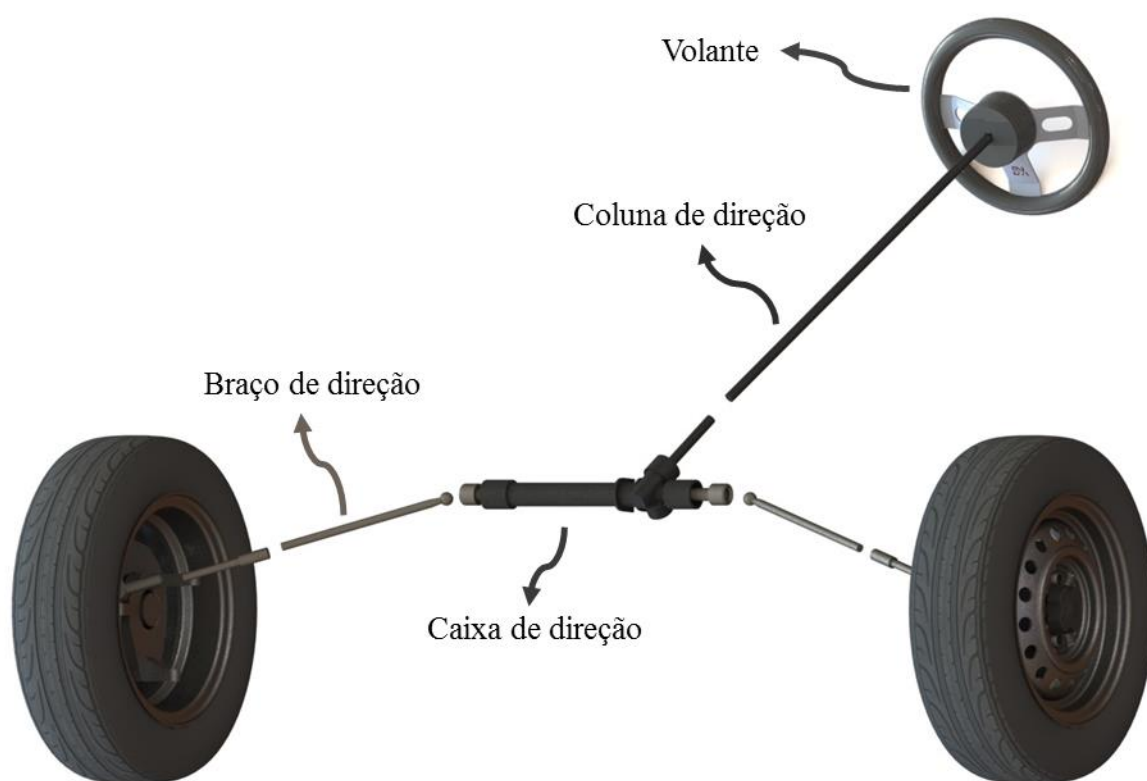


Figura 80. Sistema de direção  
Fonte: Elaborado pela autora

## 9.4 MOTOR

O motor é o dispositivo que, no caso de veículos elétricos, converte energia elétrica em energia mecânica, impelindo movimento ao veículo. Para o protótipo desenvolvido, foi selecionado um motor elétrico de corrente contínua não escovado. Este tipo de motor exige um controle de grande precisão, visto que o acionamento de diferentes bobinas ocorrem em regiões muito próximas (Orrico, 2013). As características do motor selecionado são apresentadas na Tabela 16.



Tabela 16. Informações do motor

	Parâmetros do motor
Tensão da Bateria (VDC)	200
Potência Nominal (KW)	20
Potência Máxima (KW)	30
Torque Nominal (N*m)	76
Torque Máximo (N*m)	200
Velocidade Máxima (RPM)	7000

Vale ressaltar que os motores de corrente contínua não escovados possibilitam um controle de velocidade bem flexível a partir da variação da corrente nas bobinas. Característica que impulsionou a seleção deste motor para o veículo elétrico, visto que para sua utilização para fins trabalhistas, tal limitação se torna interessante para garantir a segurança dos trabalhadores.

O sistema do motor é então composto pelo motor propriamente dito, pelo controlador e pelo pedal de aceleração. A Figura 81 apresente o sistema do motor elétrico para o veículo.

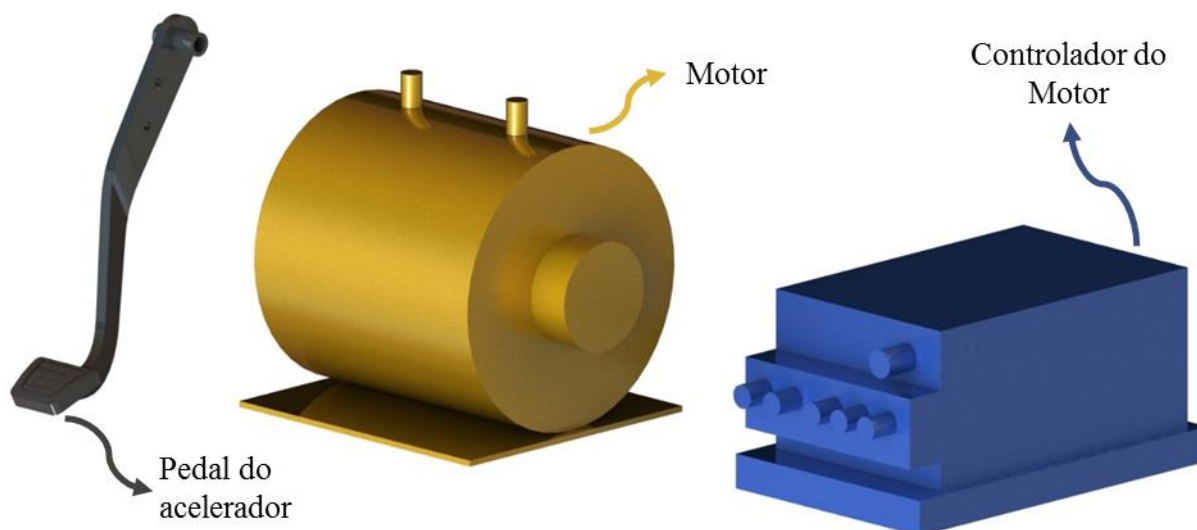


Figura 81. Componentes do sistema do motor  
Fonte: Elaborado pela autora

## 9.5 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

O sistema de alimentação do veículo elétrico é composto pelo banco de baterias de  $\text{LiFePO}_4$  e pelo Pannel Solar, componentes que serão melhor detalhados a seguir.

### 9.5.1 Banco de Baterias

O banco de baterias que alimenta o sistema de potência do veículo elétrico é composto por baterias de  $\text{LiFePO}_4$ , caracterizadas pelo seu alto teor de densidade energética por peso, pouca necessidade de manutenção e tempo de vida longo (Orrico, 2013). A Tabela 17 apresenta as características das baterias selecionadas.

Tabela 17. Informações do banco de baterias

Bateria	LiFePO <sub>4</sub>
Energia por peso [Wh/kg]	100
Ciclos	2000
Temp. de Op. [°C]	-20 ~ 60
Custo [\$/kWh]	400
DOD	80%

Assim, o banco de baterias é composto por 63 baterias com as dimensões de 152x42x190 mm, possibilitando uma autonomia nominal de 58,65 km e autonomia máxima de 80,64 km. O peso total do banco é de aproximadamente 120 kg e sua tensão é igual a 201,6 V.

Para a melhor distribuição de peso no veículo elétrico, definiu-se que o banco de baterias deve ser disposto no centro do veículo. Assim, visando também a ergonomia dos passageiros e a disposição dos demais componentes no veículo, definiu-se a geometria apresentada na Figura 82 para o banco de baterias.

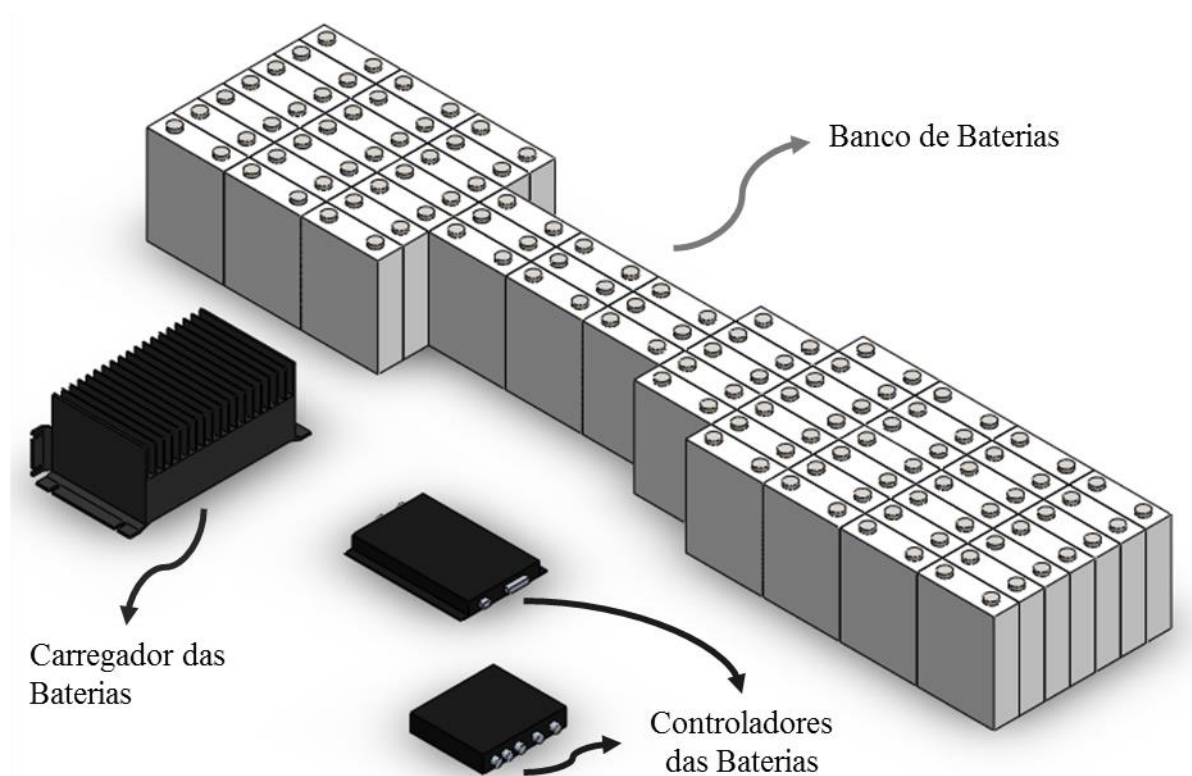


Figura 82. Componentes do sistema do banco de baterias  
Fonte: Elaborado pela autora

### 9.5.2 Painel Solar

Os painéis solares fotovoltaicos são dispositivos utilizados para converter a energia da luz solar em energia elétrica. Estes painéis são formados por células fotovoltaicas fabricadas a partir de matérias semicondutores que criam uma diferença de potencial elétrico por ação luminosa. Apesar de gerar

energia elétrica, os painéis solares necessitam de baterias para armazenar a energia e possibilitar seu uso quando necessário. Assim, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico deve levar em consideração todos os elementos eletrônicos que dependem desta energia para seu funcionamento de forma a definir a potência total que o sistema deverá fornecer.

No veículo elétrico, o subsistema do painel solar é responsável por alimentar toda a eletrônica embarcada e por isso, tal sistema é composto pelo próprio módulo fotovoltaico, seu controlador e uma bateria de chumbo-ácido, responsável por armazenar a energia gerada pelos módulos. O painel solar selecionado apresenta potência de 135 W e área de 1,00 m<sup>2</sup>. Já para o armazenamento da energia, dimensionou-se um conjunto de baterias de 36 Ah e 12 V. A Figura 83 representa graficamente o processo de geração e armazenamento da energia do sistema do painel solar.

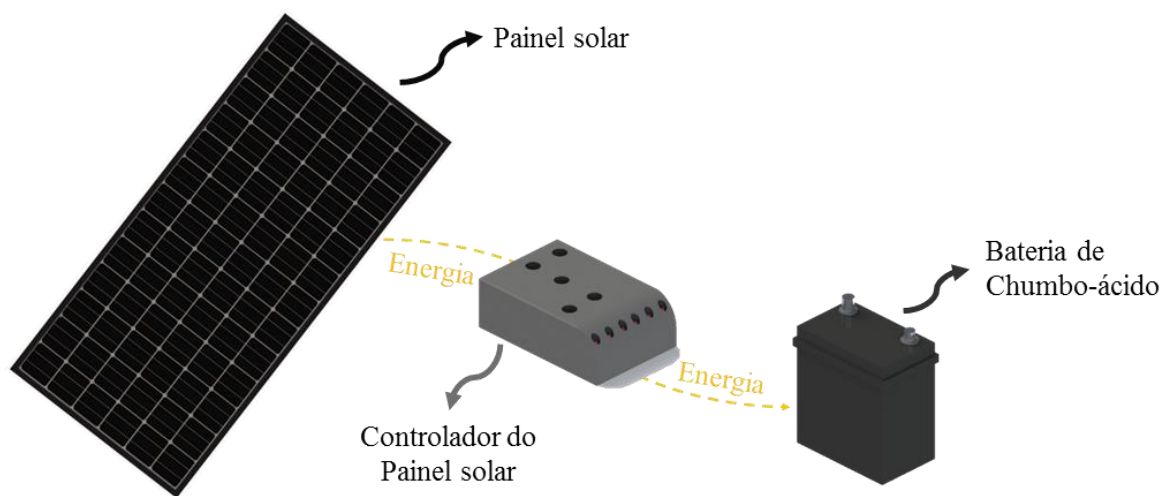


Figura 83. Sistema do Painel Solar  
Fonte: Elaborado pela autora

## 9.6 SISTEMA DE ARREFECIMENTO

Os motores elétricos são caracterizados por apresentar uma eficiência de aproximadamente 90%. Os outros 10% da energia gerada é dissipado em forma de calor e deve ser controlado para não atingir temperaturas que danifiquem os demais componentes do veículo. Assim sendo, o dimensionamento de um sistema de arrefecimento deve ser realizado baseando-se na energia calorífica que será gerada pelo motor e na temperatura ideal de trabalho do sistema como um todo.

A faixa de temperatura ideal para o sistema de potencial do veículo objeto de estudo é de -25°C a 60°C, sendo água o fluido refrigerante do motor. O controlador do motor selecionado possui uma ventoinha, a qual é acionada quando a temperatura atinge os 45°C e desativada quando o sistema está operando em temperaturas abaixo de 40°C. Quando o motor elétrico atinge a temperatura de 75°C, o controlador emite uma alerta e o torque do motor é reduzido pela metade. Caso a temperatura continue a subir e o motor atinja 85°C ou mais, o sistema é paralisado e só voltará a operar quando a temperatura baixar para 70°C ou menos.

Apesar de o controlador já possuir um sistema de refrigeração, optou-se por projetar um sistema de arrefecimento complementar, garantindo assim que o torque do motor não seja reduzido pela metade e a temperatura do sistema não atinja temperatura igual ou superior à 75°C. O sistema de arrefecimento desenvolvido é composto por um radiador que inclui o reservatório de água, uma bomba d'água para circular o fluido, uma ventoinha para ajudar a resfriar a água, um interruptor térmico para controlar a temperatura do motor e acionar a ventoinha quando necessário, e mangueiras para interligar os componentes do sistema. Seus componentes podem ser visualizados na Figura 84.

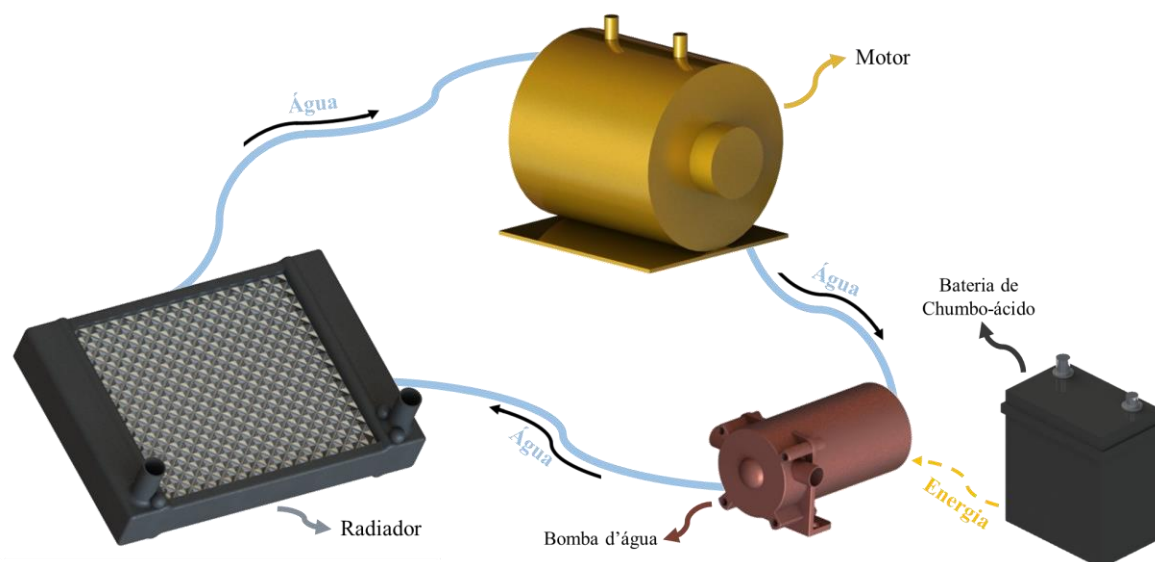


Figura 84. Esquema representativo do fluxo de água e energia elétrica no sistema de arrefecimento  
Fonte: Elaborado pela autora

## 9.7 TRANSMISSÃO

O sistema de transmissão é responsável por transferir a rotação e torque produzidos pelo motor às rodas motrizes do veículo. A relação de transmissão das forças pode ser efetuada nas rodas dianteiras, traseiras ou em ambos, independentemente da posição do motor. Por se tratar do sistema responsável por iniciar a movimentação do veículo, o funcionamento da transmissão obedece a um rigoroso circuito mecânico e deve ser devidamente dimensionado.

Visto que o torque do motor elétrico é de aproximadamente 150 N.m, dimensionou-se que a relação de redução necessária para gerar o movimento do veículo é de 10,23. Neste sentido, o projeto da transmissão do veículo elétrico é realizado na roda traseira e utiliza-se de uma caixa de redução por engrenagens e uma redução por polia com correia sincronizada, visando assim otimizar o espaço físico do sistema. Vale ressaltar que o veículo projetado não apresenta caixa com mudança de relação de marcha, uma vez que o próprio controlador do motor supre o controle de rotação e torque por meio de regulação da corrente fornecida.

A caixa de redução é de dois estágios sendo ambos compostos por engrenagens de dentes helicoidais. As especificações das engrenagens que compõe o sistema são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18. Relação de engrenagens

	Engrenagens			
	A	B	C	D
Ângulo de Hélice	25° esquerda	25° direita	25° direita	25° esquerda
Ângulo de Pressão	20°	20°	20°	20°
Número de dentes	18	48	18	27
Passo diametral	8 dentes por polegada	8 dentes por polegada	5 dentes por polegada	5 dentes por polegada
Largura de Face	1,2 polegadas	1,2 polegadas	1,5 polegadas	1,5 polegadas
Diâmetro primitivo	57,15 mm	152,40 mm	91,44 mm	137,16 mm

Por sua vez, a correia sincronizada apresenta perfil trapezoidal H, com 120 dentes e largura de 76,2 mm. As polias também são do perfil trapezoidal H e com largura de 76,2 mm, sendo o número de ranhuras da polia menor igual a 18 e da maior, 44.

Outros elementos que compõem o sistema de transmissão são: 4 (quatro) eixos responsáveis pela transmissão da energia ao longo do sistema, rolamentos, que permitem o movimento relativo entre os componentes, e chavetas para a fixação das engrenagens e polias nos eixos. A Figura 85 ilustra o sistema de transmissão e seus componentes.

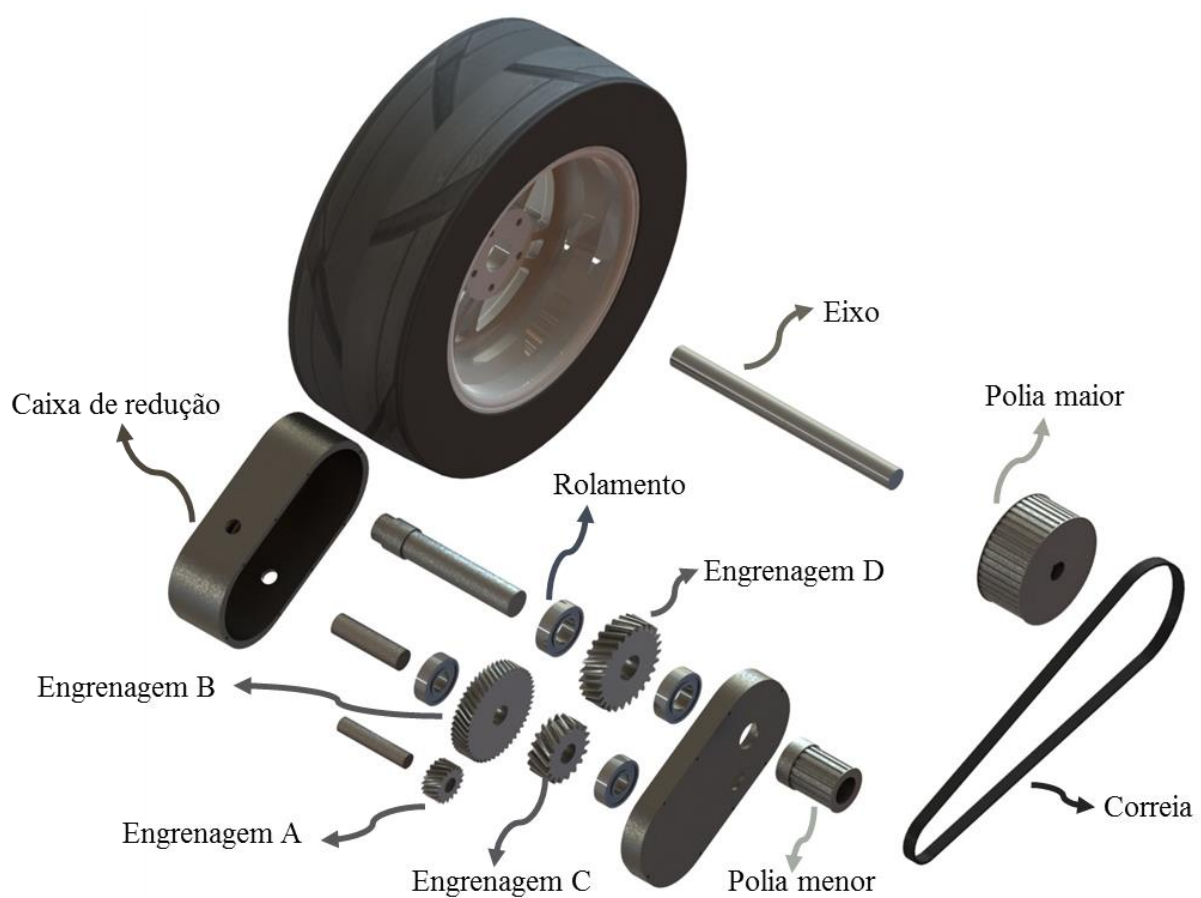


Figura 85. Sistema de transmissão  
Fonte: Elaborado pela autora



## 9.8 PAINEL DE INSTRUMENTOS

O painel de instrumentos de um veículo é uma das principais interfaces internas entre o carro e o usuário, pois disponibiliza as informações essenciais para que o motorista tenha um bom desempenho na direção, como velocidade do veículo, rotações do motor, temperatura da água do radiador e outras. Este sistema deve seguir à risca a relação entre forma e função do veículo, visto que é fundamental para estabelecer a identidade visual do veículo.

Por esta razão, foram analisados todos os fatores que interferiam no desenvolvimento do painel de instrumentos para o veículo elétrico, desde ícones que deveriam ser diferenciados (por se tratar de um carro elétrico) até os convencionalmente necessários e obrigatórios. Além disso, a legibilidade do painel também teve ser considerada, já que a variação de luz natural é muito grande.

Uma vez que o veículo desenvolvido é elétrico, seria muito dispendioso adaptar um painel analógico já existente para o produto. Assim, optou-se pela escolha do painel digital, possibilitando mais liberdade para se trabalhar em uma interface gráfica diferenciada. Por se tratar de um painel digital, o mesmo demanda uma programação para exibição das informações e, por isso, foi selecionado um netbook para atuar como o painel de instrumentos do veículo elétrico. O netbook selecionado apresenta uma tela LCD de 10'2'' com fator de escala de 25:8.

O desenvolvimento do programa do painel de instrumentos funciona em distribuição ubuntu do Linux e permite o acesso de informações do microprocessador para apresentá-las no painel. Os ícones e design final do painel de instrumentos são apresentados na Figura 86.

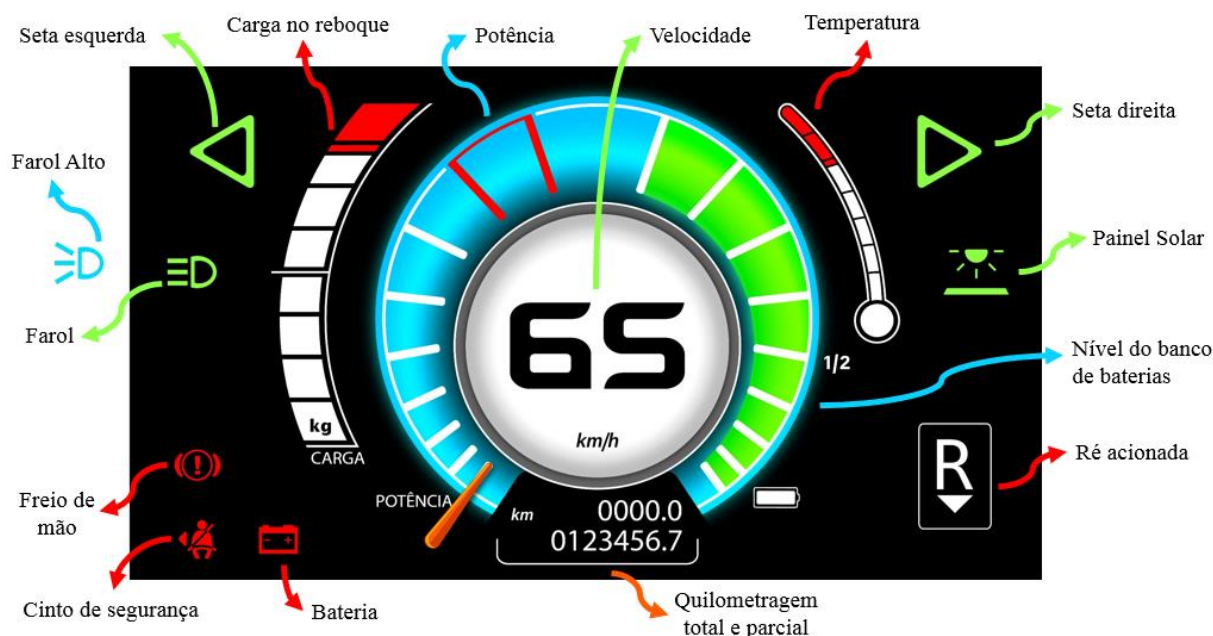


Figura 86. Painel de instrumentos do veículo

Fonte: Elaborado pela autora

## 9.9 INSTRUMENTAÇÃO

O sistema de instrumentação consiste nos sensores definidos para medir os parâmetros de operação do veículo elétrico e da plataforma de prototipagem eletrônica projetada para atuar como um microprocessador e micro controlador. Este componentes são melhor delineados a seguir.

### 9.9.1 Microprocessador: plataforma de prototipagem eletrônica

As plataformas de prototipagem eletrônica de placa única são baseadas numa placa micro controladora e um ambiente de desenvolvimento de código. Devido seus graus de liberdade, estas plataformas possuem inúmeras aplicações e funcionalidades, podendo ser combinadas com mais placas para se obter diferentes resultados. A exemplo, estas placas podem ler sensores, controlar atuadores, processar informações e controlar dispositivos ou ambientes de acordo com o desenvolvido.

Neste sentido, visando melhor controlar o ambiente de operação e unificar a fonte de coleta de informações, optou-se por desenvolver uma plataforma microprocessadora unificada para o veículo elétrico. Para este desenvolvimento, foi selecionada a plataforma Arduino Mega 25600, visto que sua característica *Open-Source* viabiliza a customização tanto do seu software como de seu hardware.

O sistema de microprocessador é responsável pela aquisição de todos os sinais emitidos, além de viabilizar a interface de comunicação com o usuário. Os principais periféricos englobados no sistema são:

- Módulo de vídeo: responsável pela apresentação dos dados coletados no painel de instrumentos.
- Módulo CAN: responsável pela aquisição dos dados enviados pelo controlador do motor e pelo controlador do banco de baterias.
- Módulo GPS: análise de dados de posição e localização do veículo, sendo dessa forma, usado para análises de teste de velocidades nos trajetos estudados.
- Módulo SD: armazenamento de informações.

A Figura 87 representa umas das extensões *shields*, aplicadas ao módulo Arduino. As *shields* consistem em placas de circuito impresso que são fixadas na placa principal por meio de pinos-conectores, definindo diversas funções específicas.

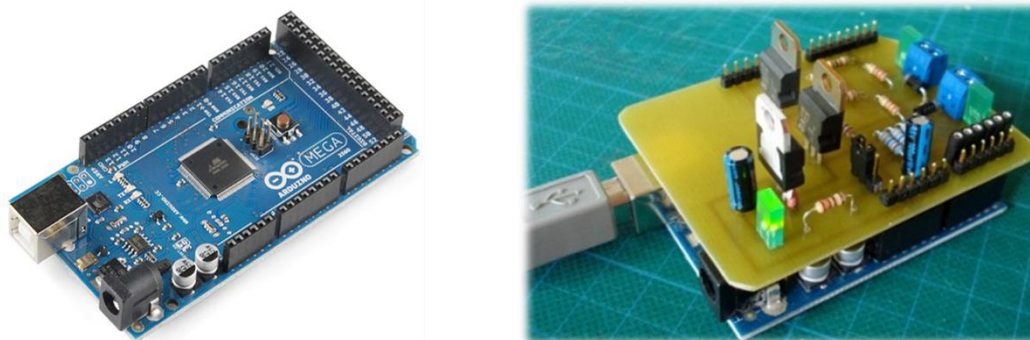


Figura 87. Arduino e sua conexão a uma shield  
Fonte: Documentação interna Ciclar

### 9.9.2 Sensores

Os sensores são responsáveis por medir diferentes parâmetros do veículo para identificar possíveis anomalias e alterações no sistema. Os sensores emitem sinais para que outros sistemas entrem em operação, visando garantir que, em caso de alterações, o veículo volte a operar de acordo com o esperado.

O controlador do motor do veículo elétrico possui nativamente sensores de temperatura e velocidade, que serão utilizados como fontes de informação. Estes sensores enviam as informações para a plataforma Arduino, que converte os dados para serem exibidos no painel de instrumentos. Além destes sensores, foram desenvolvidos dois sensores: um de peso no reboque, prevenindo a sobrecarga na capacidade do reboque, e outro de utilização ou não do cinto de segurança pelos passageiros, visando garantir uma maior segurança aos usuários (Ciclar, 2012).

O sistema sensorial do cinto de segurança é similar aos utilizados em veículos comuns. O sistema consiste em um mecanismo que fecha o circuito do sensor quando o cinto está afivelado durante a operação do veículo. Caso o circuito não feche, avisos visual e sonoro são emitidos para alertar aos passageiros que os mesmos deverão afivelar o cinto.

Por outro lado, com o intuito de diminuir custos e ao mesmo tempo criar uma alternativa precisa às formas de medição atuais de carga, o projeto desenvolveu um sensor baseado em potenciômetros, capaz de medir a carga de reboque e retornar um valor a ser convertido pela central de processamento do veículo e apresentar o resultado em quilogramas para o condutor, conforme representado na Figura 88.

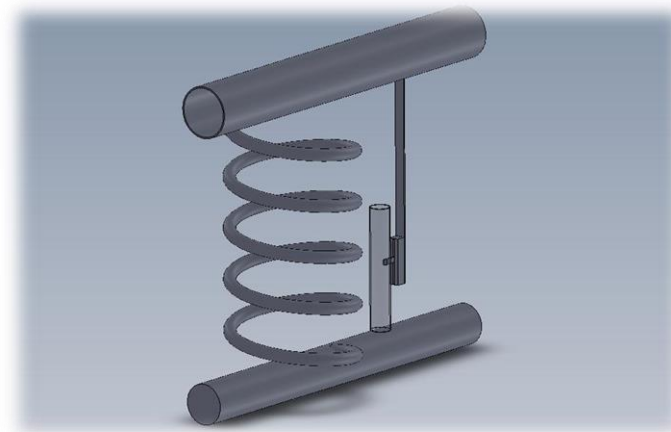


Figura 88. Sensor de peso na unidade rebocadora  
Fonte: Adaptado de Ciclar, 2012

Foram utilizados três desses componentes, um do lado direito da suspensão do reboque, outro do lado esquerdo e o último no contato que existe com o veículo. O peso do reboque é então medido a partir de uma equação que estabelece uma relação os potenciômetros e a constante de significância de cada um deles.



## 9.10 CAIXA DE FUSÍVEIS

A função da caixa de fusíveis é proteger os componentes elétricos dos veículos, por meio da interrupção da alimentação elétrica desses componentes. O fusível é um elemento de circuito que possui uma corrente máxima de operação. Quando essa corrente é ultrapassada, o fusível queima, abrindo o circuito e cessando a alimentação elétrica ao componente protegido.

Existem diferentes tipos de fusíveis, cada qual com funções específicas em sua aplicação. No projeto do veículo elétrico foram utilizados fusíveis de curto-circuito, que fundem e interrompem a corrente assim que ela passa de seu limite. Esta aplicação visa proteger os elementos passivos e componentes que se danificam rapidamente no caso de uma corrente excessiva. A caixa de fusíveis projetada engloba então todos os componentes elétricos do veículo, com exceção do motor e do banco de baterias, possui 12 polos para encaixe de fusíveis, 9 entradas de corrente e 22 saídas.

A Tabela 19 define os componentes elétricos que estão associados com cada fusível, enquanto a Figura 89 representa graficamente a distribuição dos fusíveis na caixa projetada.

*Tabela 19. Relação de componentes elétricos por fusíveis*

Fusível	Componentes elétricos
1	Luz de Freio Carro e Setas Carro
2	Luz de Freio Reboque e Setas Reboque
3	Bomba de Água e Limpador de Para Brisas
4	Livre
5	Luzes interiores e Pisca Alerta
6	Luzes Ré Carro e Reboque
7	Buzina e Buzina de Ré
8	Farol Alto e Farolete Direito
9	Farol Alto e Farolete Esquerdo
10	Luzes de placas de licença Carro e Reboque
11	Painel solar
12	Painel de instrumentos

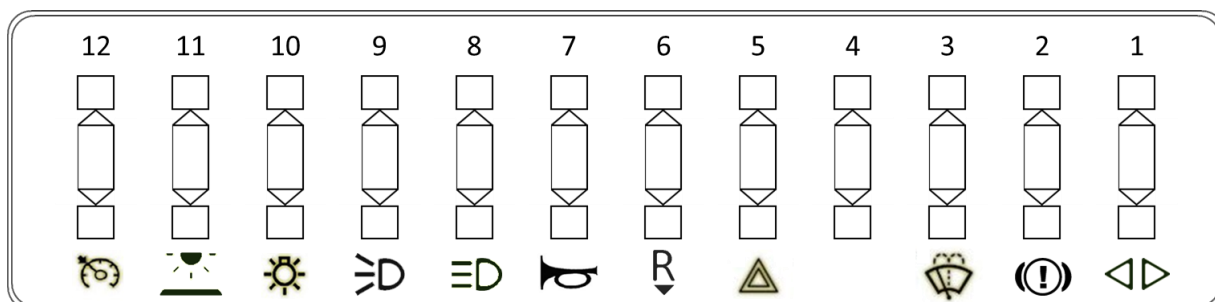


Figura 89. Representação gráfica da caixa de fusíveis  
Fonte: Elaborado pela autora

## 9.11 CHAVE DE SETA

Durante a utilização dos veículos, diversas são as operações que se deseja fazer e direções que se deseja tomar. Assim, a chave de seta, também conhecida como comando de seta, tem a função de acionar os dispositivos desejados para que os demais condutores e pedestres tomem conhecimento das ações que o veículo irá realizar. As operações básicas das chaves de seta são: informar a direção que o veículo irá tomar através do acionamento das setas, acionar funções de iluminação dianteira para permitir a visualização do caminho e acionar o limpador de para-brisa e/ou a bomba d'água do limpador sempre que necessário.

Visto a complexidade de se desenvolver uma chave de seta específica, foi adaptado para o veículo elétrico projetado a chave de seta do Volkswagen Gol geração 4, visto que este componente apresenta as funções básicas. Além de enviar sinal para que a operação desejada seja executada, a chave de seta também deve enviar sinal para a plataforma Arduino para que a informação seja enviada para o painel de instrumentos. A Figura 90 mostra o sistema de chave de seta.

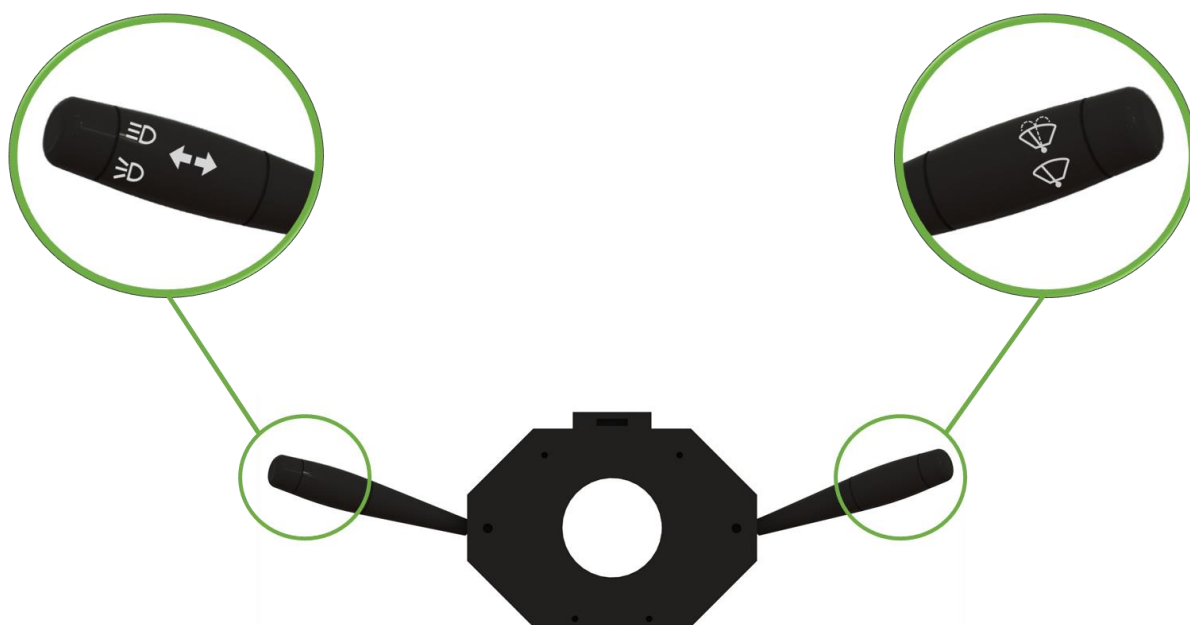


Figura 90. Funções chave de seta  
Fonte: Elaborado pela autora

## 9.12 ILUMINAÇÃO

O sistema de luzes automotivas tem a função de iluminar e sinalizar as funções do veículo, bem como permitir sua visualização pelos demais motoristas e pedestres. Por se tratar de um sistema que garante a segurança não apenas dos operadores do veículo, como também a segurança da população que se encontra no ambiente do veículo, existem diversas normas que regulam a implementação da iluminação em um automóvel.

Para o veículo elétrico foram utilizados luzes do tipo LED (*Light Emiting Diode*), diodos semicondutor que emitem luz visível não monocromática através das interações energéticas do elétron,

processo que recebe o nome de eletroluminescência. O LED é caracterizado por não possuir filamento que queime e possuir pequenos bulbos de plástico, o que torna o sistema de iluminação mais durável. Além disso, este tipo de luz apresenta boa eficiência energética visto que não aquecem tanto quanto as lâmpadas convencionais.

O sistema de iluminação do veículo engloba as seguintes luzes: faróis, luzes direcionais (piscas de setas), luz de ré, luz de cortesia e luz da placa. Devido a eficiência dos LED, o sistema luminoso requer uma quantidade energética muito menor que um sistema convencional. A Figura 91 ilustra alguns componentes deste sistema.

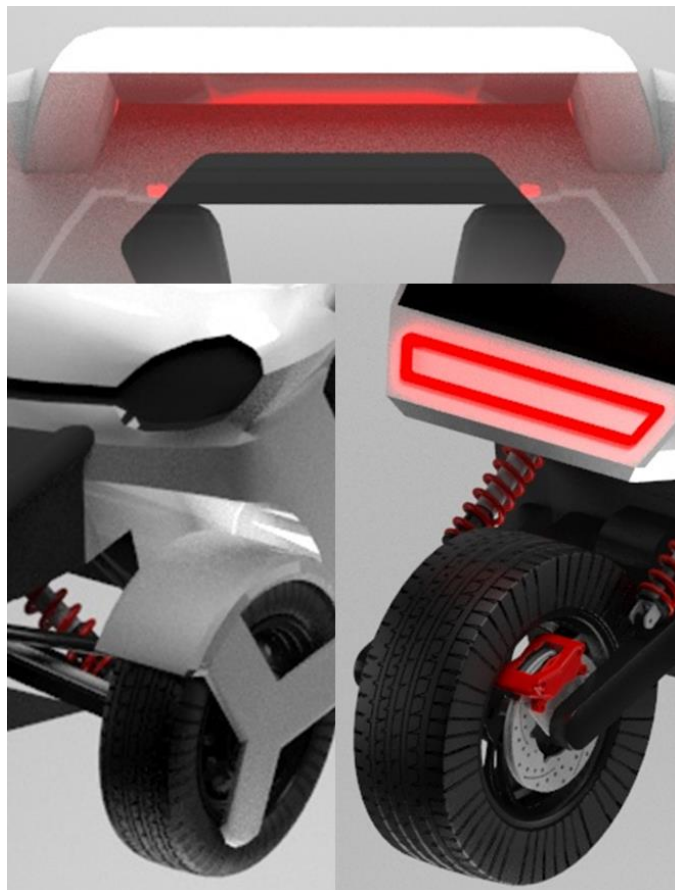


Figura 91. Sistema de iluminação do veículo elétrico  
Fonte: Elaborado pela autora

# 10 OTIMIZAÇÃO

*O presente capítulo consiste no registro do desenvolvimento da fase de otimização, na qual é realizada o detalhamento das soluções técnicas das funções secundárias do veículo elétrico.*

## 10.1 ESTRUTURAS SECUNDÁRIAS DE SUPORTE

Para que os sistemas do veículo elétrico funcionem conforme esperado, é de fundamental importância o adequado desenvolvimento dos projetos das funções secundárias relacionadas aos aspectos de suporte físico dos componentes do produto. Uma vez que o veículo elétrico apresente uma grande quantidade de componentes elétricos e eletrônicos, além de seus sistemas mecânicos, inicialmente foi feito um levantamento dos subsistemas que necessitam de suporte para fixação no veículo.

Vale ressaltar que o conjunto das estruturas secundárias de suporte alteram significativamente o peso do veículo, por se tratarem de suportes robustos. Esta alteração foi prevista desde o dimensionamento do chassi, visando a segurança do veículo.

As principais estruturas secundárias são o suporte do motor, da transmissão e do banco de baterias. Estes suportes são caracterizados por sofrer forças dos sistemas do veículo elétrico e, por isso, tais estruturas devem ser devidamente dimensionadas. Por sua vez, os demais suportes não demandam tal dimensionamento criterioso, visto que só há atuação de carga de peso próprio. Neste sentido, a fixação do motor, da caixa de redução do sistema de transmissão e do banco de baterias foram devidamente projetados e dimensionados considerando todos os esforços que tais sistemas sofrem ao longo da vida útil do veículo.

## 10.2 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

O sistema de distribuição de energia é responsável pela transferência de energia entre a rede e os componentes eletrônicos do sistema, englobando assim a especificação do cabeamento definido. Para garantir a segurança do veículo elétrico, o sistema de distribuição de energia foi devidamente dimensionado de acordo com as especificações de corrente suportada por bitola do cabo.

Assim, o desenvolvimento do sistema de cabeamento foi baseado no mapeamento realizado da quantidade de corrente transferida entre os componentes elétricos e eletrônicos do veículo. A Figura 92 ilustra os componentes mapeados e as relações de transferência de energia entre eles, com suas devidas correntes de energia máxima indicadas em amperes.

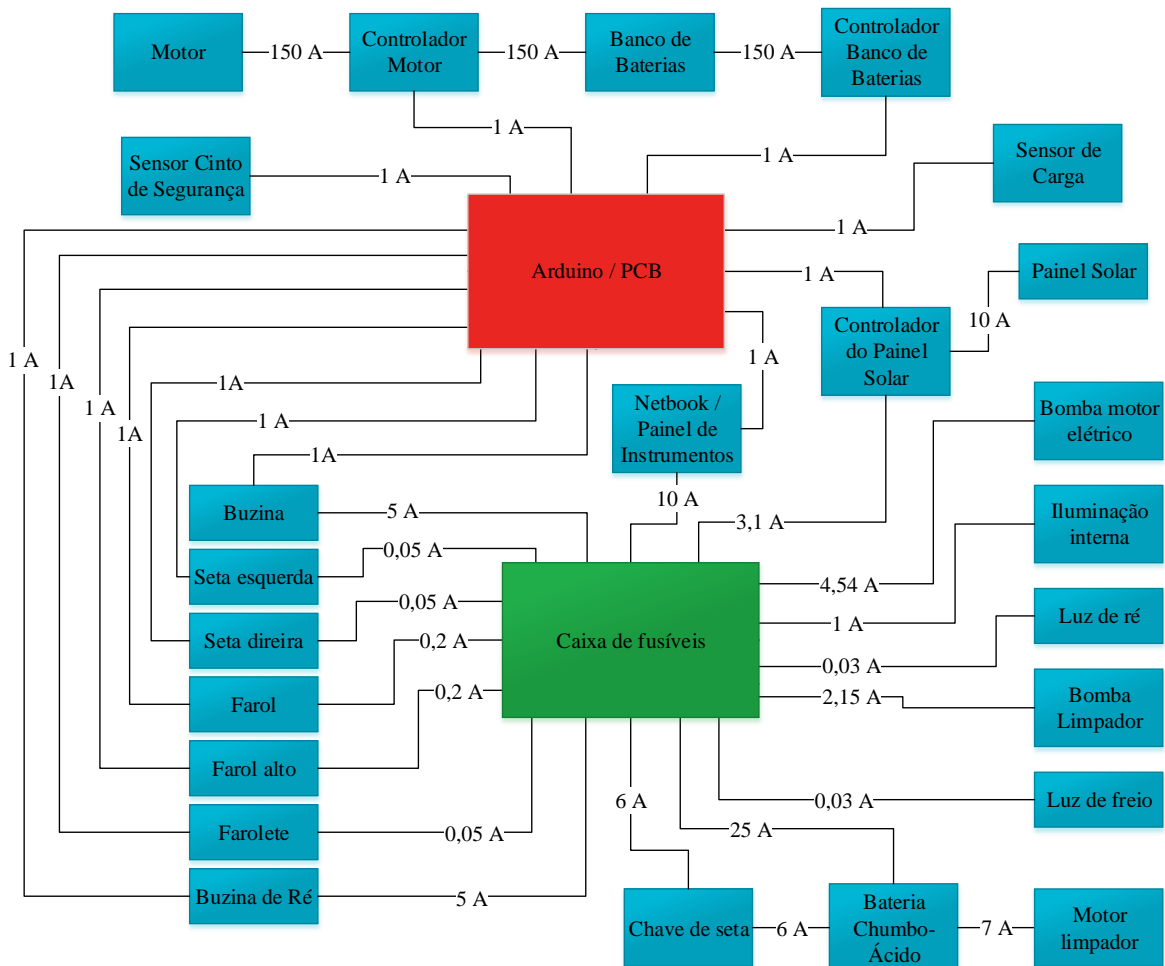


Figura 92. Esquemático dos componentes elétricos do veículo  
Fonte: Elaborado pela autora

A partir do esquemático definido, os cabos foram selecionados de forma a garantir um suporte de corrente nominal maior que a corrente máxima identificada, estabelecendo uma margem de segurança para a operação dos componentes. Entretanto, vale ressaltar que apesar de para os componentes de iluminação ser suficiente a utilização de cabos com bitolas pequenas, por norma a seção mínima para este sistema é de 1,5 mm<sup>2</sup>, para garantir a segurança. Desta forma, os cabos foram devidamente especificados e nomeados, atendendo às normas reguladoras de instalações elétricas.

### 10.3 CARENAGEM E DESIGN

O design automobilístico tem por objetivo fazer com que os veículos se tornem produtos de consumo com identidade própria, aperfeiçoando técnicas para obter maior segurança, possibilidade de uso de materiais ecológicos, maior conforto e apelo visual. Nos dias atuais, o design de um automóvel é primordial para seu sucesso junto ao mercado consumidor. Por outro lado, o design automotivo não visa somente a aparência comercial, como também leva em consideração conceitos de construção em geral, para garantir e manter padrões de estética, praticidade e segurança.

Neste sentido, a carenagem ou carroceria de um veículo tem como principal característica alinhar forma e função, de maneira que uma complemente a outra. Além de proporcionar espaço para os ocupantes, a carenagem também apresenta certa resistência, de forma a absorver determinada quantidade de energia em caso de impacto em colisão, garantindo assim a segurança dos passageiros.

Para o desenvolvimento do design da carenagem do veículo elétrico, foram estudados diferentes protótipos e conceitos de veículo modernos e, em sua maioria, veículos elétricos do tipo triciclo. Através das imagens de referências foi possível interpretar os desenhos e as linhas para auxiliar no processo de geração de alternativas, obtendo assim o melhor nível de inovação no desenho do veículo.

A compreensão do significado de um modelo de carenagem exige uma análise dos elementos e linhas que compõem o veículo, interpretando a linguagem usada em estúdios automotivos. A Figura 93 identifica as principais linhas que definem a carenagem de um veículo.



Figura 93. Linhas e formas de um veículo  
Fonte: Adaptado de Ciclar, 2012

Os pilares, além de serem importantes elementos estruturais, também são responsáveis por compor visualmente os vidros. Já a forma dos vidros DLO (*Day Light Opening*) oferece a oportunidade de criar uma superfície contrastante das demais do veículo, oferecendo uma forma de iluminação natural no interior do veículo. O termo *Crease* vem do inglês e significa dobra. Essa é a linha que tem a função de enfatizar o visual do veículo e direcionar o olhar, ajudando na organização do desenho. Diferentemente das outras linhas, esse elemento pode ser localizado em qualquer parte do veículo, basta notar as linhas mais acentuadas de um carro para percebê-la.

As principais linhas de um veículo são chamadas de *Character Lines*, responsáveis por adicionar personalidade e definir a forma final. Por se tratarem das linhas marcantes de um veículo, as *Character Lines* podem estar definidas tanto nas linhas da vista lateral como da frontal, podendo englobar também outras linhas como o *Crease Line* e a *Shoulder Line*. Por sua vez, a *Belt Line* é uma das linhas essenciais do desenho da carenagem de um veículo, visto que a mesma afeta a proporção e a aparência do veículo.

A *Shoulder Line* basicamente percorre toda a extensão superior lateral do veículo, caracterizando visualmente o estilo do veículo. Em alguns modelos de automóveis, essa linha se tornou uma parte essencial de sua identidade. Por fim, as brechas entre uma superfície e outra no veículo é chamada de *Shut Line*. Designers aproveitam cada oportunidade para incorporar essa linha, que pode ajudar a



descrever a forma do automóvel, refletindo suas características e sendo coerente com as outras superfícies.

Além das linhas que definem a identidade do veículo, existem mais dois elementos que influencia no design da carenagem: a *Body Wide Line*, linha lateral em que a largura máxima de um carro pode ser medido e que normalmente é protegida contra eventuais arranhões e riscos, e o *Cheater Panel*, formante triangular que tem a função de auxiliar e disfarçar a junção de várias superfícies (Figura 94).



Figura 94. Body Wide Line e Cheater Panel, respectivamente  
Fonte: Adaptado de Ciclar, 2012

Neste contexto, o desenvolvimento da carenagem do veículo elétrico teve início com a geração de alternativas de sua vista lateral, visando melhor definir a identidade do veículo e compreender as linhas e formas que o mesmo poderia alcançar. Em seguida, iniciou-se a modelagem das alternativas em três dimensões, por meio de *sketches* manuais (Figura 95), que melhoram o processo criativo devido ao caráter subjetivo e emocional, ampliando o leque de ideias.

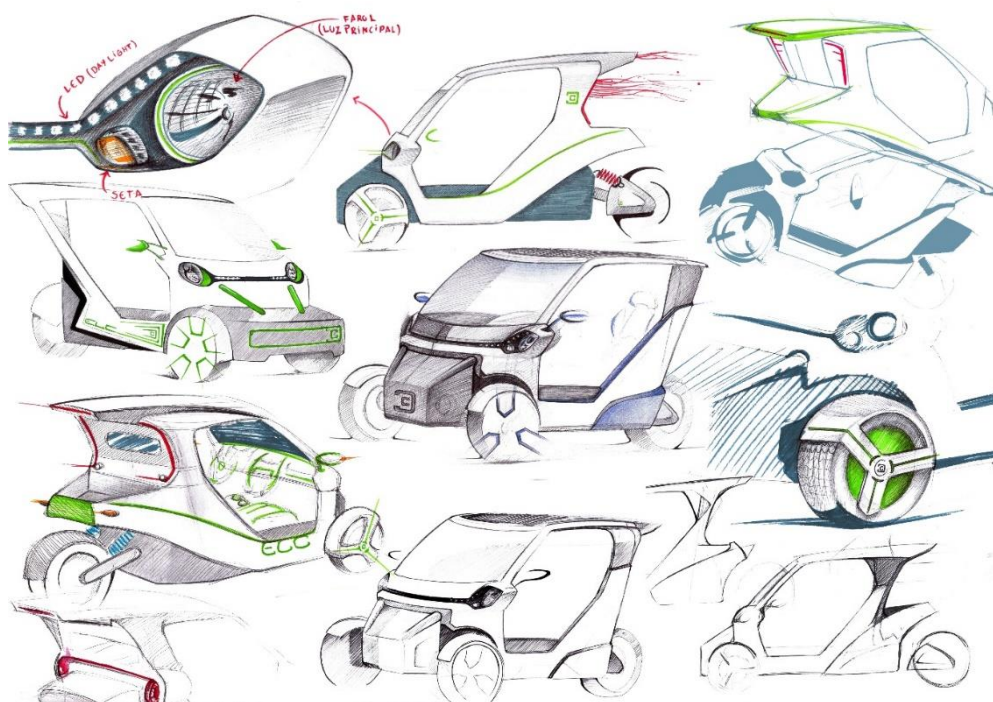


Figura 95. Sketches de alternativas para a carenagem do veículo elétrico  
Fonte: Documentação interna Ciclar

Uma vez selecionado o modelo que mais se adequa ao projeto do veículo elétrico, o mesmo é desenhado em software, de maneira a gerar um modelo 3D da carenagem. Ademais, a modelagem 3D da carenagem é elaborada de forma a encaixar nos demais sistemas do veículo. Desta forma, após adequações e otimização da carenagem, chegou-se ao modelo final, conforme apresentado na Figura 96.



Figura 96. Modelo 3D final da carenagem do veículo elétrico

Fonte: Documentação interna Ciclar

Além do desenvolvimento da carenagem, o design do interior de um automóvel é uma das etapas mais importante na concepção da identidade do veículo, pois é o momento no qual o homem interage diretamente com o produto final tanto em questões cognitivas como em aspectos ergonômicos. Neste sentido, após a definição do modelo da carenagem, iniciou-se o desenvolvimento do design interior, seguindo o mesmo procedimento supracitado. A Figura 97 ilustra os *sketches* desenvolvidos para o design do interior do veículo.

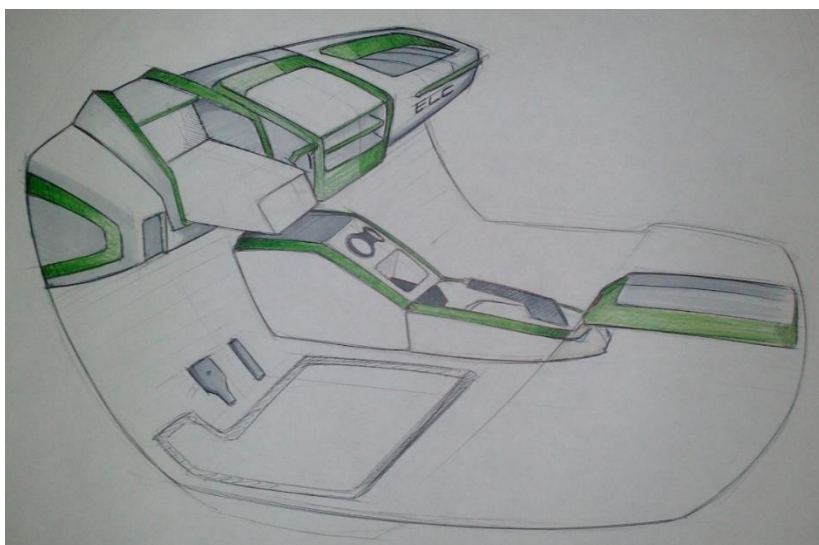


Figura 97. Sketches do interior do veículo elétrico

Fonte: Documentação interna Ciclar



## 10.4 ANÁLISE DE RISCO E CONFIABILIDADE

A Análise de Modos de Efeitos e Falhas, também conhecida como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), consiste em uma análise de risco que, a partir do mapeamento das principais vulnerabilidade e fonte de riscos, visa evitar que o produto apresente falhas e/ou defeitos decorrentes do projeto de produto, aumentando assim a confiabilidade e a qualidade do produto final (Toledo, 2013). Deste modo, a análise de risco do veículo elétrico foi baseada no método FMEA, definindo-se medidas a serem adotadas para o tratamento dos riscos identificados.

Neste sentido, baseado na arquitetura e identificação das funções dos componentes do veículo elétrico, é realizada um levantamento dos riscos existente durante a utilização do produto que resultariam em impactos negativos na segurança do veículo e em seu funcionamento. Em seguida, é realizada uma listagem das causas que poderiam ocasionar os riscos definidos, analisando-as de acordo com seus índices de severidade, ocorrência e detecção de acordo com os critérios estabelecidos nas Tabela 20 e Tabela 21.

Tabela 20. Índices de severidade e critério para sua definição

Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	A falha ocorrida mal é percebida.
2 3	Pequena	Ligeira deterioração no desempenho.
4 5 6	Moderada	Deterioração significativa no desempenho do sistema.
7 8	Alta	Sistema deixa de funcionar.
9 10	Muito Alta	Idem ao anterior, porém afeta a segurança e apresenta risco de vida.

Tabela 21. Índices de ocorrência e de detecção das falhas e critério para sua definição

Índice	Ocorrência	Índice	Deteção	Critério
1	Remota	1 2	Muito grande	Certamente será detectado.
2 3	Pequena	3 4	Grande	Grande probabilidade de ser detectado.
4 5 6	Moderada	5 6	Moderada	Provavelmente será detectado.
7 8	Alta	7 8	Pequena	Provavelmente não será detectado.
9 10	Muito alta	9 10	Muito pequena	Certamente não será detectado.

O valor do risco é dado pela multiplicação da severidade pela ocorrência pela detecção. Para cada causa, são estabelecidas medidas de tratamento de forma a diminuir o índice de risco. O processo desenvolvido no método de análise de risco do veículo elétrico pode ser vistos na Tabela 22.

Tabela 22. Planilha FMEA de análise de riscos

Riscos	Causas	Severidade	Ocorrência	Deteção	Risco	Medida Adotada	Nova Severidade	Nova Ocorrência	Nova Deteção	Risco Resultante
Choque elétrico nos passageiros e/ou terceiro	Sobrecarga no circuito primário.	6	1	3	18	Introdução de fusível.	3	1	2	6
	Contato do operador com partes de alta tensão.	10	4	1	40	Isolação dupla e impossibilidade de acesso dos passageiros para todas as partes de alta tensão do veículo. Todas as partes de alta tensão estão fora do alcance dos passageiros.	2	1	5	10
	Falha de proteção.	9	3	5	135	Utilização de material de alta qualidade (cabos, arroelas, etc.). Introdução de listas de controle de qualidade na montagem.	2	2	7	28
	Passageiro recebe descarga eletrostática.	10	3	1	30	Não há pontos dos quais uma descarga possa fluir através do passageiro.	1	2	4	8
	Acesso intencional a partes de alta tensão.	10	8	5	400	Realização de teste de acesso. Construir caixa para isolar o banco de baterias.	2	1	5	10
Perda de comunicação entre sistema de controle central e painel de instrumentos	Curto na malha de controle.	5	4	2	40	Utilização de procedimentos de montagem com isolação de partes susceptíveis a contato entre pontos de potenciais diferentes.	2	2	8	32
	Bugs do sistema micro processado de controle.	3	6	4	72	Realização de testes de validação do software.	2	1	3	6
Perda de características de segurança do sistema	Vida útil reduzida dos componentes e dispositivos de segurança	1	8	10	80	Escolha de componentes de alta vida útil. Indicação da necessidade de realizar manutenção preventiva anual.	5	4	3	60
Intoxicação do operador no uso do equipamento	Existência de materiais que liberam toxinas durante o uso do equipamento.	9	2	8	144	Mapeamento de todos os componentes cujos materiais utilizados sejam tóxicos.	8	2	2	32
O equipamento pega fogo durante a sua utilização	Existência de materiais inflamáveis que peguem fogo durante o uso do equipamento.	9	7	7	441	Utilização de materiais não inflamáveis nas temperaturas de operação do veículo.	8	7	2	112
	O equipamento atinge uma temperatura tal que derrete cabos mais próximos.	8	4	6	192	Projeto de sistemas de refrigeração de controle térmico que impedem o aquecimento do produto a temperaturas irregulares.	7	2	6	84
	Falha no sensor de temperatura.	7	3	6	126	Alertar aumento de temperatura no painel de instrumentos.	3	2	3	18

Riscos	Causas	Severidade	Ocorrência	Deteção	Risco	Medida Adotada	Nova Severidade	Nova Ocorrência	Nova Deteção	Risco Resultante
Existência de reações químicas perigosas em componentes do veículo.	Utilização de materiais que reajam quimicamente nas condições de operação do veículo.	9	8	9	648	Mapeamento de possíveis reações químicas em condições de uso do veículo.	9	8	1	72
Mal funcionamento do equipamento em condições normais de operação	Interferência eletromagnética do motor em outros componentes do veículo.	7	5	7	245	Garantir distância mínima de isolamento do motor.	3	1	6	18
	O equipamento atingiu a temperatura máxima de operação e foi desabilitado para operação.	8	2	2	32	Utilização de sistema de refrigeração.	3	2	2	12
	Falta de robustez nas conexões de entrada e distribuição de energia no veículo elétrico.	7	6	5	210	Utilização de cabos com alta resistência à torção.	2	3	5	30
	Curto-circuito na isolação do conector de comunicação	4	4	4	64	Isolação sem possibilidade de haver curto.	2	1	4	8
	Curto-circuito na isolação do conector de saída de vídeo	5	3	4	60	Isolação sem possibilidade de haver curto.	3	1	4	12
Lesões ou cortes nos passageiros	Superfícies cortantes acessíveis aos passageiros no uso do veículo.	9	5	5	225	Todos os pontos vivos da estrutura do veículo foram mapeados e protegidos.	2	1	5	10
Grande tempo necessário para a realização de manutenção em partes e componentes com maior desgaste durante o uso	Dificuldade de realização de manutenção no veículo.	1	8	3	24	Acesso a partes de maior desgaste é feito sem a necessidade de desmontagem.	1	3	3	9
	Difícil acesso a partes internas do veículo.	1	9	3	27	Projeto modulado da estrutura interna do veículo.	1	4	2	8
Travamento do motor elétrico	Queima do motor.	8	1	1	8	Realização de testes de robustez contra sobrecarga.	4	1	1	4
	Peça solta obstruindo o movimento do motor.	8	2	2	32	Travamento com parafuso ou outros processos com alta precisão.	7	1	2	14
Dificuldades de conexão elétrica do veículo	Falta de indicações acerca das formas de conexão elétrica do veículo.	3	8	6	144	Utilização de etiquetas de indicação das conexões. Descrição de conexões nos manuais de uso.	2	2	4	16
	Baixa acessibilidade e grande dificuldade técnica para a realização das conexões elétricas.	1	9	5	45	Conexões fáceis de realizar.	1	4	3	12

Riscos	Causas	Severidade	Ocorrência	Deteção	Risco	Medida Adotada	Nova Severidade	Nova Ocorrência	Nova Deteção	Risco Resultante
Dano ao equipamento por ficar muito tempo ligado sem ser utilizado	O usuário deixa o veículo ligado após usá-lo.	3	6	4	72	O motor é desligada via software. Proteção elétrica e térmica.	2	1	4	8
Expulsão e/ou saída dos passageiros com o veículo em movimento.	Não utilização do cinto de segurança.	9	9	9	729	Sistema de sensor visual no painel de instrumentos e sensor sonoro de cinto de segurança.	9	2	2	36
Atropelamento de pedestre durante operação do veículo	Baixo ruído do motor elétrico	9	7	8	504	Sistema de alarme durante o processo de ré. Projetar transmissão de forma a emitir ruído de baixa intensidade.	9	2	2	36

A partir do FMEA, é possível observar que das 28 causas identificadas, foram adotadas 34 medidas que resultaram em uma redução de 85% da média do índice de risco do veículo elétrico, aumento a confiabilidade durante o período de operação do veículo elétrico, conforme mostrado graficamente na Figura 98.

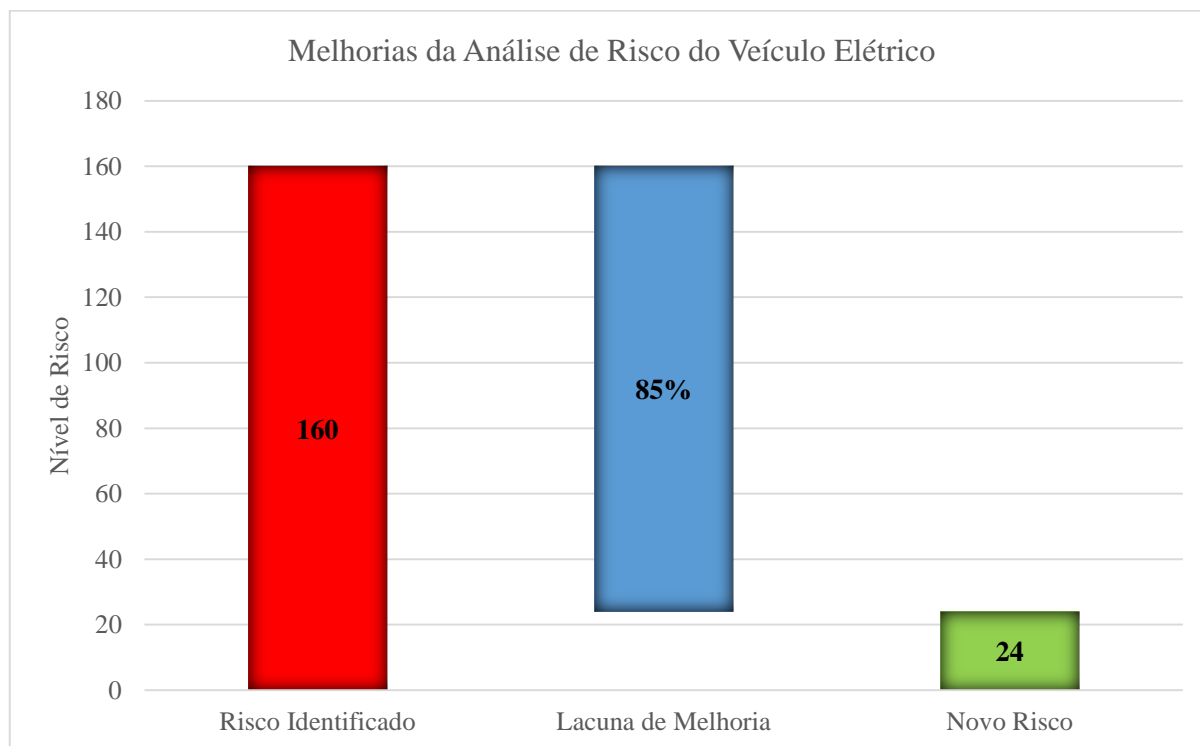


Figura 98. Resultado gráfico da análise FMEA

Fonte: Elaborado pela autora

# **PARTE III**

# **RESULTADOS**

# 11 ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA

*A análise da implementação da metodologia proposta será apresentada na presente seção, bem como a análise crítica de seus resultados.*

## 11.1 MODELO DE MATURIDADE E CAPABILIDADE

Devido aos avanços tecnológicos, as empresas passaram a ter que se preocupar cada vez mais em avaliar o nível de maturidade e capacidade de seus PDP, de forma a identificarem pontos de melhoria e se tornarem mais competitivas perante o mercado consumidor. O conceito de maturidade e capacidade propõe que os processos ocorram em ciclos de vida definidos, gerenciados, medidos, controlados e eficazes (Lockamy & McCormack, 2004 *apud* Franzosi, 2010). Pode-se considerar que organizações maduras atingem de forma consistente e eficiente as suas metas de qualidade, prazos e custos, enquanto os resultados das organizações imaturas são muitas vezes imprevisíveis e inconsistentes.

A maturidade e capacidade transmitem a noção de evolução, de desenvolvimento de um estado inicial para um estado mais avançado, passando por um número de fases intermediárias no caminho para atingir o nível desejado. Segundo Frasier *et al* (2002), diversos modelos de maturidade e capacidade têm sido propostos nos últimos anos visando proporcionar um diagnóstico atual do processo analisado, identificando os pontos a serem aprimorados e direcionando a empresa na melhoria do processo.

Moore (2007) *apud* Franzosi (2010) afirma que os modelos de maturidade e capacidade são estruturas para caracterizar a evolução de um sistema que se encontra em determinado estado menos ordenado e menos efetivo para um estado com maior grau de ordenação e altamente eficaz. Em geral, pode-se considerar que os componentes que tais modelos apresentam em comum são:

- Níveis de maturidade e/ou capacidade com suas devidas descrições e características;
- Dimensões ou áreas do processo analisadas;
- Elementos ou atividades descritos adequadamente para cada dimensão ou área do processo.

Desta forma, os modelos de maturidade e capacidade ajudam as empresas a se localizar onde e como estão, obtendo um análise de suas situações atuais e subsidiando a elaboração de planos para se atingir melhores patamares de maturidade e capacidade. Visto que uma das principais dificuldades enfrentadas no PDP é seu gerenciamento, a avaliação de seu nível de maturidade e capacidade influencia tanto no volume de melhorias incrementais como nas mudanças a serem realizadas para se obter melhores resultados (Rozenfeld, 2006). Neste contexto, para avaliar as melhorias que a metodologia proposta no presente trabalho ocasionou no PDP do veículo elétrico do projeto Ciclar, é realizada uma análise do nível de capacidade antes e depois da sistematização do processo.

## 11.2 ANÁLISE DO PDP APLICADO AO VEÍCULO ELÉTRICO

Para analisar a implementação da metodologia estabelecida para o processo de desenvolvimento de produto aplicado ao estudo de caso do Ciclar, utilizou-se como base o modelo CMMI (*Capability Maturity Model Integration*), desenvolvido em 1990 na Universidade Carnegie Mellon (Franzosi, 2010). Segundo Simões (2007), o CMMI para Desenvolvimento fornece diretrizes para a gestão e monitoramento do PDP, possibilitando abordar melhoria e avaliação por meio de duas representações diferentes: contínua e por estágios.

A representação contínua permite a análise de uma determinada área de processo, utilizando níveis de capacidade para caracterizar a melhoria associada a área em particular. Por sua vez, a representação por estágios utiliza um conjunto de áreas de processo para definir um caminho de melhoria, caracterizado por níveis de maturidade. Neste sentido, a representação contínua proporciona maior flexibilidade na utilização do modelo CMMI para melhoria de processos individuais (CMMI Product Team, 2006).

Assim sendo, baseando-se na representação contínua do CMMI, são definidos seis (6) níveis para a análise da capacidade do PDP adotado, conforme descritos a seguir.

- Nível 0. Incompleto ou não realizado: Não realizado ou parcialmente realizado
- Nível 1. Realizado informalmente: Capaz de gerar os resultados, mas seu planejamento é ineficiente
- Nível 2. Gerenciado: Planejado, executado, medido e controlado, com planos gerenciais devidamente documentados
- Nível 3. Definido formalmente: Baseado em padrões, procedimentos e métodos estabelecidos, documentando os resultados devidamente
- Nível 4. Quantitativamente gerenciado: Metas quantitativas definidas para a qualidade do produto e/ou para a performance do processo
- Nível 5. Otimizado: Melhoria contínua e inovação tecnológica, disseminando lições aprendidas

Ademais, considerou-se as macro fases apresentadas no Capítulo 4 como sendo as dimensões do processo analisado, seguindo de acordo com as atividades descritas em cada fase. Desta forma, foi avaliado o nível de capacidade antes do desenvolvimento do presente projeto de graduação, baseando-se na análise apresentada na seção 4.2, e a evolução que se conseguiu obter após sua conclusão. A análise de cada atividade das macro fases englobadas no presente trabalho e os parâmetros de cada nível de capacidade podem ser visualizados respectivamente na Tabela 23 e Tabela 24.

Tabela 23. Análise da capacidade das atividades do PDP antes e depois da sistematização do processo apresentada no presente trabalho

Dimensão	Atividade	Antes	Depois
Planejamento estratégico	Definir objetivos do Produto	Gerenciado	Definido formalmente
	Identificar produtos potenciais	Incompleto ou não realizado	Definido formalmente
	Consolidar informações tecnológicas	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Levantar produtos concorrentes	Incompleto ou não realizado	Definido formalmente
	Definir estratégias do projeto	Realizado informalmente	Definido formalmente
Especificações do produto	Identificar restrições do projeto	Gerenciado	Definido formalmente
	Identificar necessidades do cliente	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Identificar requisitos normativos	Gerenciado	Definido formalmente
	Definir métricas da qualidade do produto	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Definir especificações meta	Gerenciado	Definido formalmente
Planejamento do projeto	Definir EAP do projeto	Definido formalmente	Definido formalmente
	Desenvolver cronograma	Gerenciado	Gerenciado
	Planejar recursos necessários	Definido formalmente	Definido formalmente
	Definir gestão de comunicação	Gerenciado	Definido formalmente
	Consolidar plano do projeto	Gerenciado	Definido formalmente
	Realizar processo seletivo	Gerenciado	Gerenciado
Concepção técnica do produto	Definir função do projeto	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Desenvolver alternativas de concepção	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Modelar e sistematizar a concepção	Gerenciado	Definido formalmente
	Consolidar arquitetura do produto	Incompleto ou não realizado	Definido formalmente
	Especificar interface controle	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Gerar árvore de produtos	Realizado informalmente	Definido formalmente
Projeto técnico	Análise da tecnologia	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Capacitar pessoal	Realizado informalmente	Gerenciado
	Projeto da engenharia básica do produto	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Projeto do sistema de controle	Gerenciado	Definido formalmente
	Projeto do sistema de comunicação	Gerenciado	Definido formalmente
	Projeto do sistema micro processado	Gerenciado	Definido formalmente
	Projeto do software de alto nível	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Projeto eletrônico	Gerenciado	Definido formalmente
	Aquisição de componentes	Realizado informalmente	Realizado informalmente
	Fabricar componentes	Realizado informalmente	Gerenciado
	Montar sistemas	Realizado informalmente	Gerenciado
	Testar sistemas	Realizado informalmente	Gerenciado



Dimensão	Atividade	Antes	Depois
Otimização	Projetar suportes	Incompleto ou não realizado	Definido formalmente
	Projetar interface homem máquina	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Projetar sistemas de alimentação	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Projetar design e carenagem	Realizado informalmente	Definido formalmente
	Analisar riscos do produto quanto às especificações	Incompleto ou não realizado	Definido formalmente
	Analisar predição de confiabilidade do produto	Incompleto ou não realizado	Definido formalmente
	Montar protótipo	Gerenciado	Gerenciado
	Testar software desenvolvido	Gerenciado	Gerenciado
	Sistematizar manufatura e montagem	Gerenciado	Gerenciado

Tabela 24. Parâmetros de valores de cada nível de capacidade

Nível de Capacidade	Valor
Incompleto ou não realizado	0
Realizado informalmente	1
Gerenciado	2
Definido formalmente	3
Quantitativamente gerenciado	4
Otimizado	5

Desta forma, seguindo os valores definidos para cada nível (Tabela 24), foi possível calcular a média de capacidade de cada macro fase antes e depois do desenvolvimento do estudo de caso, possibilitando verificar quantitativamente os resultados obtidos pelo presente trabalho. A evolução de cada macro fase é representada graficamente na Figura 99, bem como são apresentadas as médias totais do processo para os dois períodos de análise.

A partir dos resultados obtidos, é possível observar que as macro fases que apresentam maior percentual de evolução foram o Planejamento estratégico e a Concepção técnica do Produto, correspondendo a um aumento de capacidade equivalente a 300%. Em seguida está a fase de Otimização com melhoria de 200% no desenvolvimento de suas atividades. A melhoria das atividades da Especificações do produto foram de 100%, enquanto as fases de Planejamento do projeto e Projeto técnico obtiveram evolução de 50%. Com isso, a média das evoluções da capacidade do PDP com o desenvolvimento do projeto trabalho foi equivalente a 167% de melhoria nas macro fases.

No gráfico, é possível observar que a média anterior ao presente projeto indicava que as atividades do PDP do veículo elétrico estavam, em sua maioria, sendo realizadas informalmente e gerenciadas por meio de planejamento ad hoc. Após a sistematização do processo desenvolvida no trabalho ora relatado, é possível notar que as fases do PDP passaram a ser definidas formalmente, evidenciando um avanço na capacidade do processo.

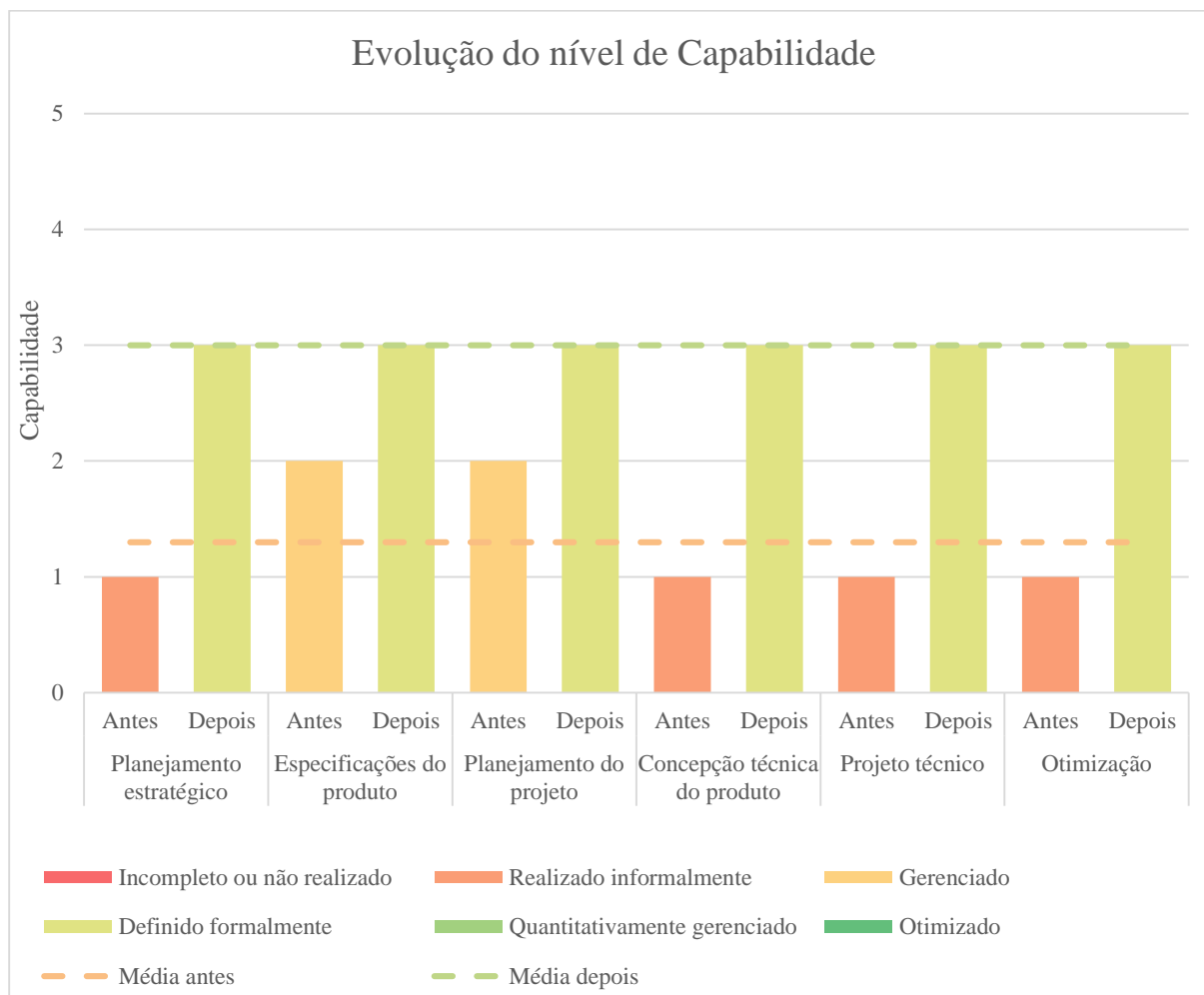


Figura 99. Gráfico de evolução da capacidade do PDP aplicado  
Fonte: Elaborado pela autora

O principal ganho desta evolução é o melhor gerenciamento do conhecimento, uma vez que a informação e estudos desenvolvidos estão devidamente documentados e registrados, possibilitando a replicação do projeto do veículo elétrico. Este fator é fundamental para o atingimento dos objetivos gerais do Ciclar, que visa, além do veículo elétrico, a capacitação e desenvolvimento profissional dos estudantes envolvidos por meio da disseminação dos conhecimentos adquiridos. Ademais, por se tratar de um projeto formado por estudantes universitários, uma das maiores dificuldades enfrentadas pelo Ciclar é a rotatividade dos envolvidos, ressaltando mais uma vez a importância de se ter todo o desenvolvimento devidamente documentado.

Além do registro documental do conhecimento, pode-se concluir que a metodologia aplicada ao Ciclar se mostrou eficaz em melhorar a capacidade do processo de desenvolvimento do projeto no âmbito acadêmico. Neste sentido, projetos acadêmicos similares podem aplicar a metodologia proposta de forma a reduzir o tempo e custo do desenvolvimento de produtos, visto que as atividades já se encontram descritas e devidamente ordenadas, bastando seguir o fluxo da metodologia de PDP proposta. Por sua vez, visto que a metodologia proposta evidencia a documentação que deve ser gerada e o presente estudo de caso pode ser considerado um *template* para a documentação, o método sugerido

auxilia na formalização do conhecimento e, conseqüentemente, na promoção deste conhecimento, contribuindo para a formação dos estudantes.

Por fim, a metodologia do PDP aplicado a projetos acadêmicos melhora a integração entre as diferentes áreas envolvidas, em virtude do fato de que no início do projeto todos os envolvidos já se encontram cientes do processo que será desenvolvido. Assim, ao decorrer das atividades, todos poderão acompanhar a execução das fases e macro fases por meio da documentação que está sendo gerada e pela própria interação entre os estudantes, resultando em um ambiente colaborativo e devidamente gerenciado baseado na troca de conhecimentos decorrente de um processo bem definido.

## 12 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRÓXIMOS PASSOS

*Nesta secção serão apresentadas considerações finais do trabalho desenvolvido, bem como sugestões para trabalhos futuros.*

Para que um produto represente os reais requisitos exigidos e seja passível de produção, o desenvolvimento de sua concepção envolve diversas etapas que devem ser realizadas, de tal forma a agregar valor perante o mercado. Com efeito, o Processo de Desenvolvimento de Produtos visa sistematizar informações e construir um esquema básico de produto, respeitando a integração entre objetivos, planejamento e implementação. Por se tratar de um processo crítico para a organização, diversos modelos de referência definem as melhores práticas a serem consideradas no processo de desenvolvimento, garantindo a eficiência e eficácia da implementação das atividades.

Por sua vez, a busca por novos métodos de aprendizagem tem resultado em uma valorização da aprendizagem colaborativa, dado o caráter definitivo que a troca de informações e de experiências exerce no processo de desenvolvimento de competências. Neste sentido, o conceito de aprendizagem colaborativa foi aplicado como uma referência ao *modus operandi* na construção do conhecimento de uma equipe de estudantes universitários para o desenvolvimento de um projeto de produto. Este projeto, denominado Ciclar, propõe o desenvolvimento e fabricação de um veículo elétrico destinado a apoiar a coleta seletiva do campus universitário.

Devido às suas particularidades, a implementação do PDP no âmbito deste projeto requer adaptações nos modelos de referência propostos, visando atender a todas as particularidades e restrições do contexto específico. O presente projeto de graduação apresentou a sistematização do processo de desenvolvimento do veículo elétrico proposto pelo Ciclar, resultante da aplicação da metodologia baseada no modelo de referência proposto por Barbalho (2006).

Ao longo da aplicação do modelo é possível evidenciar a formalização do processo, que permitiu consolidar as informações e conhecimentos registrados e, até mesmo, perdidos anteriormente pela falta de documentação. Ademais, o registro documental das fases iniciais do desenvolvimento do veículo permite que novos membros entendam as decisões tomadas anteriormente. Com a sistematização do processo, a arquitetura do veículo está evidenciada de forma gráfica e os projetos técnicos se encontram consolidados e devidamente ordenados.

Neste sentido, tendo sido realizada a análise de capacidade do processo de desenvolvimento do veículo elétrico, é possível concluir que o objetivo principal do trabalho de sistematizar o processo de desenvolvimento do veículo elétrico foi alcançado, visto que o nível de capacidade atingido é caracterizado por apresentar padrões e metas bem definidos e adequadamente controlados. Desta forma, mesmo não sendo realizado o ciclo completo do PDP adaptado, é evidente que os resultados obtidos proporcionam um maior grau de ordenação do processo como um todo.

Os projetos em ambiente universitário têm por objetivo o desenvolvimento e aplicação de competências técnicas e transversais, proporcionando a formação de profissionais mais capacitados e preparados para o mercado de trabalho. Assim, conclui-se que um dos principais benefícios da sistematização do processo aplicado ao Ciclar é a melhoria no gerenciamento do conhecimento. A externalização e combinação dos conhecimentos gerados a partir do desenvolvimento do veículo elétrico são demonstrados no presente trabalho, possibilitando assim, a internalização destes conhecimentos por outras pessoas. A documentação resultante, além de facilitar o controle e acesso das informações, auxilia no processo de integração dos envolvidos, uma vez que o compartilhamento do conhecimento por meio da troca de experiências agrega mais valor aos conhecimentos gerados e, consequentemente, resulta em documentos mais completos e sistêmicos.

Outra implicação obtida com o presente trabalho é a possibilidade de implementação da metodologia proposta em outros projetos em âmbito acadêmico, visto que tal método se mostrou eficaz ao melhorar o nível de capacidade do PDP do Ciclar. A construção e definição de um esquema básico do produto, bem como de seu processo de desenvolvimento, resultam em um melhor aproveitamento do tempo de projeto, impactando também em seu custo. Ademais, na metodologia proposta as atividades estão bem descritas e o estudo de caso apresenta modelos para a documentação que deve ser gerada, facilitando a replicação do PDP sugerido em outros projetos com contextos similares. Neste sentido, a análise dos resultados obtidos a partir da metodologia de PDP implementada no projeto em questão evidenciam os benefícios do modelo definido como meio dinâmico de sistematizar informações, garantindo os vínculos entre objetivos, planejamento e implementação.

## **12.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A partir do desenvolvimento do projeto de graduação ora relatado, sugere-se a realização dos seguintes estudos relacionados ao tema:

- Desenvolver fases de validação e homologação, e monitoramento do veículo elétrico proposto pelo Ciclar, realizando uma nova análise de capacidade do ciclo completo do processo de desenvolvimento;
- Implementar metodologia em um projeto acadêmico desde seu início, verificando benefícios de se estruturar o PDP desde a início do desenvolvimento do produto;
- Verificar as melhorias que a aplicação metodologia proposta traz para a redução de riscos comuns em projetos no âmbito universitário;
- Propor plano de fábrica para fabricação efetiva do veículo elétrico proposto.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, D. A. *Dimensionamento Cinemático e Dinâmico de Suspensão Duplo A*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Universidade de Brasília. Brasília, 2012.
- ANFAVEA: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2014*. São Paulo, 2014.
- Azevedo, A. H., et al. *Criação de um ambiente de desenvolvimento de projeto com foco na formação de competências e no trabalho colaborativo*. In: CONEM 2012 – VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. São Luís, Maranhão. ABCM, 2012.
- Barbalho, S. C. M. *Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos: proposta e aplicações*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2006.
- Barbosa, V. *Eggasus, o carro elétrico em forma de ovo perfeito para SP*. s.d. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/galerias/carros-eletricos/eggasus-o-carro->>. Acesso em: 4 jul. 2014.
- Bornia, A. C. e J. A. Lorandi. *O processo de desenvolvimento de produtos compartilhado na cadeia de suprimentos*. Revista da FAE, Curitiba, v. 11, n. 2, p 35-50, jul/dez 2008.
- Ciclar. *Veículo elétrico destinado a apoiar centros de coleta seletiva*. Relatório Técnico. Brasília, 2012.
- CMMI Product Team. *CMMI® para Desenvolvimento – Versão 1.2*. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon. Pittsburgh, 2006.
- Contran. *Resolução N° 63*. 21 de maio de 1998.
- Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013*. Rio de Janeiro: EPE, 2014.
- Franzosi, L. O. *Maturidade do PDP e certificação da qualidade: coerência encontrada no setor de alimentos de Curitiba*. Tese (Mestrado em Engenharia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.
- Frasier, P., J. Moultrie e M. Gregory. *The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability*. In: Engineering Management Conference, p. 244-249, IEEE, 2002.
- INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. *Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE*. 2014.
- Inovação Tecnológica. *Bateria de ar-lítio: carros elétricos com autonomia de 800 km*. 2012. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=bateria-ar->>. Acesso em: 4 jul. 2014.
- Inovação Tecnológica. *Bateria que respira promete dar fôlego aos carros elétricos*. 2014. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=bateria-que->>. Acesso em: 4 jul. 2014.

- Inovação Tecnológica. **BMW lança garagem solar para veículos elétricos**. 2014. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=garagem->>. Acesso em: 4 jul. 2014.
- Inovação Tecnológica. **Carro de corrida elétrico bate recorde mundial de velocidade**. 2013. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=recorde->>. Acesso em: 4 jul. 2014.
- Inovação Tecnológica. **Carro elétrico dobrável é inspirado no tatu-bola**. 2013. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=carro->>. Acesso em: 4 jul. 2014.
- Inovação Tecnológica. **Fórmula 1 dos carros elétricos terá recarregamento sem fios**. 2013. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=formula-1->>. Acesso em: 4 jul. 2014.
- Inovação Tecnológica. **Ônibus elétricos sem fios começam a rodar na Coreia**. 2013. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=onibus->>. Acesso em: 4 jul. 2014.
- Inovação Tecnológica. **Táxi elétrico desmistifica autonomia dos veículos a bateria**. 2013. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=taxi->>. Acesso em: 4 jul. 2014.
- Lakatos, E. M.; Marconi, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo, Atlas, 1991
- Miguel, P. A. C. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**. Produção, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 216-229, jan/abr 2007.
- Milliken, W. F.; D. L. Milliken. **Race Car Vehicle Dynamics**. SAE, 1995.
- Orrico, M. V. M. **Procedimento para seleção de motor e bateria para veículo elétrico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação). Universidade de Brasília. Brasília, 2013.
- Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Decreto N° 5.940**. 25 de outubro de 2006.
- Rozenfeld, H.; Forcellini, F. A.; Amaral, D. C.; Toledo, J. C.; Silva, S. L.; Alliprandini, D. H.; Scalice, R. K. **Gestão de desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. 1. São Paulo: Saraiva, 2006.
- Shigeru, M. F. **Curso Básico de Freios**. São Paulo: AEA: Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, 1994.
- Silva, E. L.; E. M. Menezes. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2005.
- Silva, G. C. **Modelo de Referência para o processo de desenvolvimento do produto automotivo e diretrizes para seleção de protótipos virtuais e físicos**. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

- Simões, J. M. S. *Perfil de maturidade do processo de desenvolvimento de produtos em empresas de pequeno e médio porte do setor de máquinas e implementos agrícolas*. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2007.
- Tecmundo. *JAD: conheça o primeiro minicarro elétrico brasileiro*. s.d. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/carro/53540-jad-conheca-o-primeiro-minicarro->>. Acesso em: 4 jul. 2014
- Teixeira, L. P. *Prospecção Tecnológica: importância, métodos e experiência da Embrapa Cerrados*. Planaltina, Distrito Federal: Embrapa Cerrados, 2013. Disponível em: <[http://bbeletronico.cpac.embrapa.br/versaomodelo/html/2013/doc/doc\)317.shtml](http://bbeletronico.cpac.embrapa.br/versaomodelo/html/2013/doc/doc)317.shtml)>. Acesso em: 1 jul. 2014.
- Toledo, J. C.; Borrás, M. A.; Mergulhão, R. C.; Mendes, G. H. S. *Qualidade - Gestão e Métodos*. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- Turrioni, J. B.; C. H. P. Mello. *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção: Estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas*. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 2012.
- U.S. Department of energy: energy efficiency & Renewable Energy. *All-Electric Vehicles: Compare Side-by-Side*. 2014. Disponível em <[www.fueleconomy.gov/feg/evsbs.shtml](http://www.fueleconomy.gov/feg/evsbs.shtml)>. Acesso em: : 22 abr. 2014.



# APÊNDICES

		Pág.
Apêndice I	Tabela de riscos levantados	126

## APÊNDICE I: Tabela de riscos levantados

Risco	Categoria	Dimensão	Impacto	Probabilidade	Grau de exposição	Classificação	Índice risco	% do índice acumulado
Recurso financeiro não suficiente	Organizacional	Custo	Alto	Alta	Alto	Ameaça	125	6%
Não obtenção de financiamentos	Gerenciamento de projetos	Custo	Alto	Alta	Alto	Ameaça	125	12%
Criação de um ambiente colaborativo	Organizacional	Moral	Alto	Alta	Alto	Oportunidade	125	18%
Simulação do ambiente de trabalho	Técnico	Moral	Alto	Alta	Alto	Oportunidade	125	24%
Desenvolvimento de conhecimentos práticos	Técnico	Qualidade	Alto	Alta	Alto	Oportunidade	125	30%
Desenvolvimento de profissionais mais capacitados	Técnico	Moral	Alto	Alta	Alto	Oportunidade	125	36%
Não acesso à tecnologia existente	Técnico	Qualidade	Alto	Média	Alto	Ameaça	75	40%
Equipamentos e ferramentas inadequados	Técnico	Qualidade	Alto	Média	Alto	Ameaça	75	43%
Introdução / desenvolvimento de novas tecnologias	Técnico	Qualidade	Alto	Média	Alto	Oportunidade	75	47%
Piora do desempenho acadêmico	Organizacional	Moral	Alto	Média	Alto	Ameaça	75	50%
Falta de infraestrutura	Organizacional	Moral	Médio	Alta	Alto	Ameaça	75	54%
Atraso na entrega dos produtos adquiridos	Externo	Entrega	Médio	Alta	Alto	Ameaça	75	57%
Assunto novo ou não familiar para os membros	Organizacional	Qualidade	Médio	Alta	Alto	Ameaça	75	61%
Alta rotatividade de pessoal (volatilidade do pessoal envolvido)	Organizacional	Entrega	Médio	Alta	Alto	Ameaça	75	65%
Desenvolvimento de competências transversais	Técnico	Moral	Médio	Alta	Alto	Oportunidade	75	68%
Não conciliação do horário escolar e do projeto	Gerenciamento de projetos	Moral	Médio	Alta	Alto	Ameaça	75	72%
Melhora do currículo	Técnico	Moral	Médio	Alta	Alto	Oportunidade	75	75%
Participação em eventos	Gerenciamento de projetos	Moral	Médio	Alta	Alto	Oportunidade	75	79%
Atraso da entrega do protótipo	Gerenciamento de projetos	Entrega	Médio	Alta	Alto	Ameaça	75	83%
Indisponibilidade de equipamentos e ferramentas no momento requisitado	Técnico	Entrega	Médio	Média	Médio	Ameaça	27	84%
Dificuldade de comunicação	Gerenciamento de projetos	Entrega	Médio	Média	Médio	Ameaça	27	85%
Falta de conhecimentos e/ou habilidades necessárias da equipe do projeto	Organizacional	Qualidade	Médio	Média	Médio	Ameaça	27	86%
Falta de integração entre as áreas de conhecimento	Organizacional	Qualidade	Médio	Média	Médio	Ameaça	27	88%

Risco	Categoria	Dimen- são	Impac- to	Probabi- lidade	Grau de expo- sição	Classifi- cação	Índi- ce risco	% do índice acumu- lado
Falta de comprometimento	Organizacional	Moral	Médio	Média	Médio	Ameaça	27	89%
Escopo ou objetivos pouco claros ou mal interpretados	Gerenciamento de projetos	Qualidade	Médio	Média	Médio	Ameaça	27	90%
Falha em obter comprometimento dos membros	Gerenciamento de projetos	Entrega	Médio	Média	Médio	Ameaça	27	92%
Mudança na propriedade do produto	Técnico	Entrega	Médio	Média	Médio	Ameaça	27	93%
Não desenvolvimento do Conhecimento Técnico	Técnico	Qualidade	Alto	Baixa	Médio	Ameaça	15	94%
Não suficiência de recurso humano	Organizacional	Entrega	Alto	Baixa	Médio	Ameaça	15	94%
Falta de cooperação entre os membros	Organizacional	Moral	Alto	Baixa	Médio	Ameaça	15	95%
Falta de conhecimento no manuseio dos equipamentos	Técnico	Segurança	Alto	Baixa	Médio	Ameaça	15	96%
Não utilização dos EPIs adequados	Técnico	Segurança	Alto	Baixa	Médio	Ameaça	15	97%
Choque elétrico (alta tensão)	Técnico	Segurança	Alto	Baixa	Médio	Ameaça	15	97%
Protótipo não atender requisitos das normas	Técnico	Qualidade	Alto	Baixa	Médio	Ameaça	15	98%
Troca de experiências	Organizacional	Moral	Baixo	Alta	Médio	Oportu- nidade	15	99%
Publicação de trabalhos	Gerenciamento de projetos	Moral	Baixo	Alta	Médio	Oportu- nidade	15	99%
Network	Gerenciamento de projetos	Moral	Baixo	Média	Baixo	Oportu- nidade	3	100%
Mudança dos requisitos do produto	Organizacional	Entrega	Médio	Baixa	Baixo	Ameaça	3	100%
Requisito do protótipo mal interpretado e/ou mal definido no início	Gerenciamento de projetos	Custo	Médio	Baixa	Baixo	Ameaça	3	100%
Pessoal envolvido insuficiente/inadequado	Organizacional	Entrega	Médio	Baixa	Baixo	Ameaça	3	100%

## ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo I</b>	
<b>Dados Anfavea</b>	129
<b>Anexo II</b>	
<b>Evolução do preço da gasolina e da energia elétrica no Brasil</b>	131

## ANEXO I: Dados Anfavea: Referências internacionais

### 4.1 Frota de autoveículos em alguns países - 2005/2012

*Vehicle fleet in selectec countries - 2005/2012*

Mil unidades/Thousand units

PAÍS/COUNTRY	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Estados Unidos/United States	237.697	244.643	248.701	249.813	248.972	248.232	248.932	251.497
China/China	31.597	36.974	43.584	50.996	62.806	78.018	93.563	109.220
Japão/Japan	75.686	75.859	75.715	75.528	75.324	75.362	75.513	76.126
Alemanha/Germany	49.223	49.742	44.021	44.180	44.633	45.261	45.983	46.538
Rússia/Russia	31.212	32.547	35.455	38.264	39.303	40.661	42.862	45.385
Itália/Italy	38.942	39.877	40.368	40.895	41.323	41.650	42.067	42.000
França/France	36.298	36.661	37.033	37.212	37.438	37.744	38.070	38.138
<b>BRASIL/BRAZIL*</b>	<b>23.023</b>	<b>24.069</b>	<b>25.596</b>	<b>27.481</b>	<b>29.643</b>	<b>32.065</b>	<b>34.655</b>	<b>37.271</b>
Reino Unido/United Kingdom	34.394	34.935	35.354	35.538	35.217	35.479	35.632	35.761
México/Mexico	21.550	24.185	25.868	28.208	29.692	30.482	31.966	33.416
Espanha/Spain	25.158	26.227	27.174	27.613	27.389	27.513	27.596	27.481
Polónia/Poland	14.723	15.860	17.197	18.882	19.387	20.319	21.049	22.172
Canadá/Canada	18.909	19.578	20.071	20.520	20.792	21.057	21.420	21.745
Coreia do Sul/South Korea	15.397	15.895	16.428	16.795	17.326	17.941	18.437	18.870
Indonésia/Indonesia	9.062	10.784	12.848	14.001	14.570	15.829	16.674	18.004
Austrália/Australia	13.612	13.979	14.320	14.729	15.051	15.473	16.032	16.436
Turquia/Turkey	8.427	9.080	9.653	10.191	10.611	11.266	12.062	12.827
Tailândia/Thailand	9.539	8.805	9.194	9.646	10.085	10.600	11.533	12.749
Irã/Iran *	7.360	7.670	8.010	8.450	9.180	10.100	11.000	11.920
Malásia/Malaysia	7.415	7.921	8.438	9.030	9.605	10.253	10.900	11.573
Argentina/Argentina	7.005	7.682	8.258	8.460	8.955	10.116	10.959	11.473
Holanda/Netherlands	8.369	8.483	8.692	8.908	8.920	9.112	9.192	8.854
África do Sul/South Africa	6.872	7.372	7.803	8.017	8.221	8.472	8.794	9.168
Bélgica/Belgium	5.520	5.605	5.703	5.802	5.887	9.024	6.122	6.168
Suécia/Sweden	4.628	4.696	4.776	4.802	4.829	4.875	4.964	5.018
Áustria/Austria	4.524	4.579	4.628	4.676	4.757	4.847	4.930	5.010

Fontes/Sources: ADEFA, ANFAVEA, ANFAC, ANFIA, SMMT, OICA

(\*) Estimativa. / Estimate.

### 4.2 Habitantes por autoveículo - 2003/2012

*Inhabitants per vehicle - 2003/2012*

PAÍS/COUNTRY	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Estados Unidos/United States	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Austrália/Australia	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4
Itália/Italy	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
Canadá/Canada	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Espanha/Spain	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6	1,7	1,7
Japão/Japan	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
França/France	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Reino Unido/United Kingdom	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7	1,7
Áustria/Austria	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7
Alemanha/Germany	1,7	1,7	1,7	1,7	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8
Bélgica/Belgium	1,9	1,9	1,9	1,8	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7
Suécia/Sweden	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
República Tcheca/Czech Republic	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Coreia do Sul/South Korea	3,3	3,2	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,6
México/Mexico	5,5	5,0	5,0	4,7	4,1	3,8	3,6	3,5	3,6	3,6
Argentina/Argentina	5,5	5,6	5,7	5,2	4,8	4,7	4,5	4,0	3,7	3,6
<b>BRASIL/BRAZIL**</b>	<b>8,4</b>	<b>8,2</b>	<b>8,0</b>	<b>7,9</b>	<b>7,4</b>	<b>6,9</b>	<b>6,5</b>	<b>6,1</b>	<b>5,7</b>	<b>5,3</b>

Fontes/Sources: ANFAVEA, ADEFA, ANFIA, JAMA, KAMA, VDA, OICA.

(\*) Estimativa. / Estimate.

### 4.3 Produção de autoveículos - 2004/2013

Worldwide vehicle production - 2004/2013

Mil unidades/Thousand units

PAÍS/COUNTRY	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
China / China	5.234	5.708	7.278	8.883	9.299	13.791	18.265	18.419	19.272	22.117
Estados Unidos / United States	11.989	11.947	11.292	10.781	8.694	5.731	7.763	8.662	10.333	11.046
Japão / Japan	10.512	10.800	11.484	11.596	11.576	7.934	9.629	8.399	9.943	9.630
Alemanha / Germany	5.570	5.758	5.820	6.213	6.046	5.210	5.906	6.147	5.649	5.718
Coreia do Sul / South Korea	3.469	3.699	3.840	4.086	3.827	3.513	4.272	4.657	4.562	4.521
Índia / India	1.511	1.639	2.017	2.254	2.332	2.642	3.557	3.927	4.175	3.881
<b>BRASIL / BRAZIL</b>	<b>2.317</b>	<b>2.530</b>	<b>2.612</b>	<b>2.980</b>	<b>3.216</b>	<b>3.183</b>	<b>3.382</b>	<b>3.416</b>	<b>3.403</b>	<b>3.712</b>
México / Mexico	1.577	1.684	2.046	2.095	2.168	1.561	2.342	2.681	3.002	3.052
Tailândia / Thailand	928	1.123	1.194	1.287	1.394	999	1.645	1.458	2.429	2.457
Canadá / Canada	2.711	2.688	2.572	2.579	2.082	1.490	2.068	2.135	2.463	2.380
Rússia / Russia	1.386	1.355	1.503	1.660	1.790	725	1.403	1.990	2.232	2.175
Espanha / Spain	3.012	2.752	2.777	2.890	2.542	2.170	2.388	2.373	1.979	2.163
França / France	3.666	3.549	3.169	3.016	2.569	2.048	2.229	2.243	1.968	1.740
Reino Unido / United Kingdom	1.856	1.803	1.650	1.750	1.650	1.090	1.393	1.464	1.577	1.597
Indonésia / Indonesia	408	501	296	412	601	465	703	838	1.066	1.208
República Tcheca / Czech Republic	448	602	855	938	947	983	1.076	1.200	1.179	1.133
Turquia / Turkey	823	879	988	1.099	1.147	870	1.095	1.189	1.072	1.126
Eslováquia / Slovakia	224	218	295	571	576	461	562	640	927	975
Argentina / Argentina	260	320	432	545	597	513	717	829	764	791
Irã / Iran	789	817	904	997	1.051	1.394	1.599	1.648	1.000	744
Itália / Italy	1.142	1.038	1.212	1.284	1.024	843	838	790	672	658
Malásia / Malaysia	472	563	503	442	531	489	568	534	570	601
Polónia / Poland	601	613	715	785	946	879	870	838	655	583
África do Sul / South Africa	450	525	588	534	563	374	472	533	539	546
Bélgica / Belgium	900	927	918	834	724	537	555	595	538	480
Romênia / Romania	122	195	214	242	245	296	351	335	338	411
Taiwan / Taiwan	431	446	303	283	183	226	303	342	339	339
Austrália / Australia	411	395	331	335	330	227	244	224	227	216
Suécia / Sweden	340	339	333	366	308	156	217	189	163	161
Outros / Others	937	1.138	1.194	1.402	1.562	904	1.217	1.185	1.172	1.111
<b>TOTAL / TOTAL</b>	<b>64.496</b>	<b>66.551</b>	<b>69.335</b>	<b>73.139</b>	<b>70.520</b>	<b>61.704</b>	<b>77.629</b>	<b>79.880</b>	<b>84.208</b>	<b>87.272</b>

Fontes/Sources: ANFAVEA, OICA.

Notas/Notes: (1) Os dados do Brasil até 2009 incluem autoveículos desmontados (CKD). / Data from Brazil until 2009 include CKD vehicles.

(2) A partir de 2011, os dados da Alemanha e da França se referem a automóveis e comerciais leves e os dados da Suécia se referem somente a automóveis.

As from 2011, data for Germany and France refer to cars and light commercial and data for Sweden refer only to automobiles.

## ANEXO II: Evolução do preço da gasolina e da energia elétrica no Brasil

